

ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INCENDIOS FORESTALES EN EL SECTOR RURAL DEL MUNICIPIO DE TOTA BOYACÁ CON EL EMPLEO DE SIG

KAREN YESENIA ARIAS MURCIA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016**

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INCENDIOS FORESTALES EN EL
SECTOR RURAL DEL MUNICIPIO DE TOTA BOYACÁ CON EL EMPLEO DE
SIG**

KAREN YESENIA ARIAS MURCIA

**Proyecto de grado en modalidad monografía para obtener el título de:
INGENIERO GEÓLOGO**

**Director:
GERMAN HERRERA SALAMANCA
Msc. Geografía, Esp. En SIG, Agrólogo**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016**

Nota de Aceptación

Msc. Germán Herrera Salamanca
Director

Msc. Inés Vergara Gómez
Jurado

Msc. Fredy Alexander Fonseca
Jurado

Sogamoso, 24 de octubre 2016

A Dios por ser mi guía

*A mi madre Gloria mi gran apoyo, mi motivación
A Saidy mi modelo a seguir, mi gran ejemplo
A mi padre Alvaro por creer en mí
A Jhonathan, el tesoro que me llegó por casualidad
A mi Abuelita Helena, por su apoyo y compañía
A Adrian, quien me anima a seguir adelante
A Tomás, mi fiel amigo*

*De todos siento el cariño y el amor que me motivan a seguir
Siempre adelante, a soñar y cumplir mis metas,
De no sentirme derrotada y de recordarme siempre
Que cuento con ellos incondicionalmente.*

AGRADECIMIENTOS

A mi Director de Tesis, el profesor Germán Herrera Salamanca a quien expreso mi más sincera gratitud por su valiosa asesoría, quien siempre estuvo a disposición de resolver mis inquietudes, a quien admiro por el valioso papel que desempeña como docente al mostrar su dedicación y entrega a todos los estudiantes.

Agradezco a Adrian Gutierrez, quien me motivo en cada paso que di en el transcurso de mi carrera, quien me brindó su gran apoyo, su asesoría, su ayuda, de una manera desinteresada y enriquecedora; de quien aprendí no solo en el ámbito profesional sino también lo maravilloso que es como persona.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por permitirme pertenecer a tan prestigiosa universidad donde me forjé como persona y profesional, adquiriendo un sin número de conocimientos y saberes.

A la escuela de ingeniería geológica, por permitirme compartir con profesores que me brindaron las herramientas y aporte de conocimientos para mi crecimiento profesional.

A mis compañeros de universidad, con los compartí, practicas, estudios y risas. A Alejandra Lopez, Andrea Meneses y Eliana Araque de las que aprendí mucho y tuve la oportunidad de tener experiencias llenas de alegrías y recuerdos.

A Lizeth Gonzalez, mi compañera de aula, con quien tuve oportunidad de compartir y de conocer la maravillosa persona que es con su sonrisa, solidaridad y apoyo.

A toda mi familia, quienes fueron testigos de este arduo proceso y con los he compartido momentos inolvidables.

RESUMEN

Durante los últimos años, los incendios forestales se han manifestado cada vez con mayor intensidad saliendo de control, las consecuencias son devastadoras y la recuperación de la vegetación nativa es lenta. Los sensores remotos brindan información valiosa que es la base para la identificación del fenómeno como un primer paso en la gestión del riesgo por parte de las autoridades municipales.

Se plantea una variable ampliada de metodologías propuestas a escala 1:100.000 la cual se ajusta a escala 1:25.000 incluyendo nuevas componentes como Antecedentes de incendios, Radiación solar, Solana – Umbría y vientos con otros ya propuestos como, precipitación, temperatura, pendientes y Combustibles que se suman.

Los datos satelitales y aquellos derivados de estaciones meteorológicas tradicionales, se modelan en ambiente SIG (*Sistemas de Información geográfica*) para obtener el resultado final.

La zona estudiada es el Municipio de Tota en el departamento de Boyacá mostrando que las veredas con nivel de amenaza alta y muy alta son Romero y Daisy.

Palabras clave: Amenaza, Incendios, Zonificación, Sistemas de información geográfica (SIG), componentes.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	IV
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GENERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. GENERALIDADES	6
4.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	6
4.2 DIVISIÓN POLITICA	7
4.3 HIDROGRAFÍA	8
4.4 VIAS DE ACCESO	9
4.5 CLIMA Y VEGETACIÓN	10
4.6 GEOLOGIA	10
4.7 GEOMORFOLOGÍA	12
5. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE	16
6. METODOLOGÍA: ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INCENDIOS FORESTALES A ESCALA 1:25.000	20
6.1 CONCEPTOS APLICADOS EN LA METODOLOGÍA DE TRABAJOS ANTERIORES	20
6.1.1 Susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios	20
6.1.2 Factores climáticos	20
6.1.3 Factor relieve	20
6.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	20
6.2.1 Antecedentes de incendios	21
6.2.2 Precipitación	24
6.2.3 Combustibles	25
6.2.3.1 Generación del mapa de tipo de combustibles:	26
6.2.3.2 Generación del mapa de duración de combustibles:	27
6.2.3.3 Generación del mapa de carga de combustibles:	28
6.2.3.4 Generación del mapa de combustibles	29
6.2.4 Pendientes	30
6.2.5 Vientos	30
6.2.6 Solana - Umbría	38
6.2.7 Temperatura	41
6.2.7.1 Ajuste temperatura según el gradiente altitudinal	41
6.2.7.2 Calificación de la componente Temperatura	44
6.2.8 Radiación por hora	45
6.2.8.1 Radiación Neta	45
6.2.8.2 Brillo Solar	47

6.2.8.3	Mapa Radiación por hora	48
6.3	ELABORACIÓN MAPA DE AMENAZAS POR INCENDIOS FORESTALES	49
7.	RESULTADOS	51
7.1	ANTECEDENTES POR INCENDIOS FORESTALES	51
7.2	PRECIPITACIÓN	53
7.3	COMBUSTIBLES	55
7.4	PENDIENTES	57
7.5	VIENTOS	59
7.6	SOLANA - UMBRÍA	61
7.7	TEMPERATURA	63
7.8	RADIACIÓN SOLAR POR HORA	65
7.9	MAPA DE AMENAZAS POR INCENDIOS FORESTALES EN TOTA	67
8.	VERIFICACIÓN EN CAMPO	69
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	86
	BIBLIOGRAFÍA	87

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización municipio de Tota	6
Figura 2. Mapa División Política, veredas del municipio de Tota.	7
Figura 3. Mapa hidrográfico municipio de Tota.	8
Figura 4. Vías de primer orden que comunican al casco urbano de Tota	9
Figura 5. Efecto Foehn, Caso Tota.	10
Figura 6. Mapa geológico del municipio de Tota.	12
Figura 7. Ambientes morfogenéticos, presentes en Tota.	13
Figura 8. Mapa geomorfológico municipio de Tota.	15
Figura 9. Rangos de calificación de factores más relevantes para hallar el mapa de susceptibilidad total de la cobertura.	17
Figura 10. Interrelación entre los factores de amenaza de incendios de la cobertura vegetal.	19
Figura 11. Esquema modificado de la amenaza por incendios forestales.	21
Figura 12. Nivel de severidad de la vegetación, de acuerdo a los rangos del NBR.	22
Figura 13. Flujo de modelamiento imágenes Landsat 5-7-8 NBR, para obtener mapa de antecedentes de incendios en Tota.	23
Figura 14. Modelamiento de datos para la obtención del mapa de precipitación.	25
Figura 15. Mapa de cobertura vegetal en el municipio de Tota.	26
Figura 16. Modelamiento para obtener mapa de Combustibles en Tota.	30
Figura 17. Propagación de un incendio en función de la pendiente, a) A favor de la pendiente, b) En contra de la pendiente.	31
Figura 18. Flujo de modelamiento para obtener mapa de pendientes.	32
Figura 19. Efecto Foehn	33
Figura 20. Ejemplo de ajuste de datos Rosa del Viento estación Automática Aquitania.	34
Figura 21. Frecuencia de velocidades estación Aquitania Automática	35
Figura 22. Frecuencia de direcciones estación Aquitania Automática	35
Figura 23. Proceso de manejo de datos de vientos WRPLOT.	36
Figura 24. Modelamiento para obtener mapa de vientos Tota.	37
Figura 25. Ubicación de la solana y umbría.	38
Figura 26. Solana y umbría vista en Google Earth cerca al lago de Tota.	39
Figura 27. Graticula de distribución de dirección de la pendiente según calificación.	40
Figura 28. Modelamiento para obtener mapa de Solana y Umbría.	40
Figura 29. Variación de altura y temperatura municipio de Tota	42
Figura 30. Histograma de frecuencia del DEM superficie de Tota y altura promedio (Mean).	43
Figura 31. Modelamiento corrección de temperatura según gradiente altitudinal	43

Figura 32.	Modelamiento del manejo de datos, hasta la obtención del mapa de temperatura.	44
Figura 33.	Mapa distribución Radiación Neta Colombia, en sistema de coordenadas WGS 1984.	46
Figura 34.	Modelamiento de datos para obtener mapa de radiación, en base a rangos asignados para Colombia.	47
Figura 35.	Modelamiento de datos para obtener mapa de brillo Solar, en base a rangos asignados para Brillo solar.	48
Figura 36.	Modelamiento para obtener el mapa de Radiación por hora.	49
Figura 37.	Esquema simplificado Amenaza por incendios.	49
Figura 38.	Mapa Antecedentes de incendios Tota.	51
Figura 39.	Distribución de los Antecedentes de incendios calificados en Tota.	52
Figura 40.	Mapa componente de precipitación Tota.	53
Figura 41.	Distribución de la precipitación calificada en Tota.	54
Figura 42.	Precipitación media mensual del casco Urbano Tota.	54
Figura 43.	Mapa componente combustibles municipio de Tota.	55
Figura 44.	Distribución de combustibles en Tota	56
Figura 45.	Mapa componente pendientes municipio de Tota.	57
Figura 46.	Distribución de pendientes en Tota	58
Figura 47.	Mapa componente vientos municipio de Tota.	59
Figura 48.	Distribución de vientos en Tota.	60
Figura 49.	Mapa componente Solana - Umbría municipio de Tota.	61
Figura 50.	Distribución solana - Umbría en Tota.	62
Figura 51.	Mapa componente Temperatura municipio de Tota.	63
Figura 52.	Distribución temperatura en Tota.	64
Figura 53.	Diagrama de distribución de temperatura media mensual en el casco urbano de Tota.	64
Figura 54.	Mapa radiación por hora municipio de Tota.	65
Figura 55.	Distribución radiación por hora calificada Tota	66
Figura 56.	Mapa de amenazas por incendios forestales en Tota.	67
Figura 57.	Distribución amenaza por incendios forestales por hora calificada Tota.	68
Figura 58.	Puntos de incendios Tota	69

INDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Incendio antiguo vereda Tota, INC_001	70
Foto 2. Incendio reciente, vereda Romero, INC_002	71
Foto 3. Incendio antiguo, Vereda Romero, INC_003	72
Foto 4. Incendio vereda Romero, INC_004	73
Foto 5. Posible quema para cultivo, vereda Romero, INC_005	74
Foto 6. Incendio provocado por tala y acumulación de árboles, vereda Romero, INC_006 Y INC_007	75
Foto 7. Incendio muy antiguo, vereda Romero, INC_008	76
Foto 8. Zona de contraste entre cultivos y vegetación nativa, vereda Daisy, INC_009	77
Foto 9. Zona de tala y quema de árboles, vereda Toquechá, INC_012	78
Foto 10. Incendio reciente, vereda Toquechá, INC_013	79
Foto 11. Incendio antiguo, vereda Puerta, INC_015	81
Foto 12. Incendio antiguo, vereda Puerta, INC_016	82

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Áreas ambientes morfogenéticos	13
Tabla 2. Subunidades Geomorfológicas definidas en el municipio de Tota	14
Tabla 3. Ajuste de nivel de severidad de la vegetación en 5 categorías	22
Tabla 4. Rangos de calificación precipitación 5 categorías.	25
Tabla 5. Interpretación tipos de cobertura a combustible predominante Tota.	27
Tabla 6. Calificación tipo de combustible predominante Tota.	27
Tabla 7. Duración de combustibles según el tipo de cobertura Tota.	28
Tabla 8. Calificación duración de los combustibles.	28
Tabla 9. Carga total de combustibles según el tipo de cobertura Tota.	29
Tabla 10. Calificación Carga de combustibles.	29
Tabla 11. Calificación de la pendiente.	31
Tabla 12. Rangos de calificación asignados con datos de vientos para el municipio de Tota.	37
Tabla 13. Calificaciones de dirección de pendiente para solana y umbría.	39
Tabla 14. Valores máximos y mínimos de Temperatura y altura	42
Tabla 15. Calificación de la temperatura.	44
Tabla 16. Calificación de radiación neta	46
Tabla 17. Calificación de brillo solar	48
Tabla 18. Porcentaje de distribución de antecedentes por incendios calificados en Tota.	52
Tabla 19. Porcentaje de distribución precipitación calificada en Tota.	53
Tabla 20. Porcentaje de distribución de combustibles calificado en Tota.	56
Tabla 21. Distribución de pendientes calificadas en Tota	58
Tabla 22. Distribución de vientos calificados en Tota	60
Tabla 23. Distribución solana - Umbría calificados en Tota	62
Tabla 24. Distribución temperatura calificada Tota.	63
Tabla 25. Distribución radiación calificada Tota.	66
Tabla 26. Distribución de amenazas por incendios forestales en el municipio de Tota.	68

ANEXOS

Anexo 1: Listado imágenes satelitales Landsat NBR, Tota.

Anexo 2: Equivalencias de características del combustible vegetal a las categorías del sistema Corine Land Cover para Colombia.

Anexo 3: Mapa de Amenazas por Incendios forestales de Tota.

INTRODUCCIÓN

Poco a poco el cambio climático global y la expansión de la actividad antrópica en el medio natural transforman los usos del suelo cambiando la cobertura original para ampliar la frontera agrícola y urbana a expensas de los espacios naturales en equilibrio.

A esta alteración progresiva del medio natural causada por el hombre se suma la causada por fenómenos naturales entre los cuales se destacan los incendios forestales, las inundaciones y los deslizamientos. La intensidad y frecuencia de estos eventos se ha ido acentuando en lo que los investigadores han denominado como el cambio climático global, entre cuyas causas se argumenta sea el calentamiento global.

Uno de los eventos recurrentes es el de los incendios forestales cuya causa puede ser natural o antrópica y afectan territorios en toda la geografía nacional, un gran ejemplo es el presentado durante la temporada del fenómeno del niño de 2015, que según el departamento nacional de planeación (DNP) los incendios forestales arrasaron más de 120.000 hectáreas donde las zonas más afectadas son Magdalena, Cundinamarca, Huila, Casanare y Boyacá¹.

Varias entidades de carácter nacional como el IDEAM, se han interesado en investigar el tema con el fin de ofrecer elementos de juicio válidos para su gestión por parte de las autoridades municipales a lo cual están obligadas en el marco de los planes de ordenamiento territorial, POT reglamentados por la ley 1523 de 2012 y demás adiciones.

Boyacá departamento predominantemente andino, se ve afectado periódicamente por incendios forestales por lo que se ha planteado implementar una metodología que permita a las autoridades municipales contar con la información requerida para abordar la gestión del riesgo.

Por lo anterior se ha seleccionado al Municipio de Tota para desarrollar la propuesta metodológica a una escala 1:25.000 involucrando además data proveniente de teledetección satelital.

El presente trabajo se desarrolla mediante la presentación de siete partes. En la primera parte se expone el planteamiento del problema y los objetivos que tiene este estudio.

¹ EL TIEMPO. Incendios por fenómeno de El Niño arrasaron 120.000 hectáreas en 2015. Febrero 2016. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/incendios-por-fenomeno-del-nino/16510446>

En la segunda parte se encuentran las generalidades, donde se realiza una presentación de las características del municipio de Tota, como localización, división política, hidrografía, vías de acceso, geología, geomorfología, clima y vegetación.

En la tercera parte se desarrolla la revisión de literatura, donde se dan a conocer los principales conceptos que guiaron el proceso de la metodología: Susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios, amenaza por incendios y factores de la amenaza por incendios.

En la cuarta parte se expone la aproximación metodológica del estudio, que se desarrolla con la aplicación de 8 componentes para realizar el mapa de amenazas por incendios forestales.

En la quinta parte se muestran los mapas resultantes de la aplicación de cada una de las componentes expuestas en la metodología hasta el mapa final de amenazas para el municipio de Tota, y también se encuentran tablas y gráficos que brindan una idea cuantitativa de esto.

En la sexta parte se muestran las huellas de incendios identificados en el municipio de Tota, mediante un inventario realizado en algunas veredas del municipio.

Por último, en la séptima parte se presentan las consideraciones finales que incluyen las conclusiones y recomendaciones que derivaron del desarrollo de la metodología.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los incendios forestales son uno de los eventos que han cobrado fuerza en su frecuencia de ocurrencia e intensidad a nivel global, por lo tanto el tema produce gran interés debido al incremento de áreas afectadas y los impactos que produce.

La mayor parte de las afectaciones por este fenómeno se dan en la flora o cobertura vegetal aunque también se ve afectada la fauna y microfauna, además a las infraestructuras de todo tipo causando inmensas pérdidas materiales e incluso de vidas.

A esto se agregan los incendios deliberadamente causados por el hombre especialmente aquellos inducidos por agricultores y ganaderos con el fin bien sea de adecuar sus terrenos para la siembra o para renovar los pastizales envejecidos.

Países líderes en el manejo de incendios como Canadá, Estados Unidos, Italia por ejemplo, casi todos localizados en zonas de latitudes templadas, proponen metodologías aplicadas a la identificación de amenazas por incendios forestales, pero estas se ajustan a aquellos periodos del año donde las condiciones climatológicas imperantes se mantienen en un determinado rango de tiempo (Estaciones climáticas), por ende esto provoca un cambio también en la cobertura vegetal a medida que se produce la transición de una estación a otra (Paramo Rocha, 2011).

En países ecuatoriales, donde la vegetación y el clima son diferentes, es muy escaso el manejo de este tema, sin embargo en países como Colombia, el IDEAM, ha propuesto una metodología aplicada a la zonificación de riesgos por incendios a escala 1:100 000, que acoge investigaciones previas de Paramo (Paramo Rocha, 2011).

El objeto primordial de la metodología IDEAM (IDEAM, 2011) es que sea conocida e implementada para que las autoridades municipales cuenten con un mapa de amenazas por incendios que les permita una adecuada gestión del riesgo en aras de preservar la integridad ambiental del territorio como de sus habitantes.

El municipio de Tota, en el departamento de Boyacá como tantos otros municipios, ha presentado diversos cambios en su entorno, como en el uso del suelo y se ha visto afectado por los incendios forestales que en general se asocian con el cambio climático global, así que se hace necesario implementar una metodología que se ajuste a una escala más detallada en este caso 1:25.000, más acorde con la estructura espacial y el tamaño municipal.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Producir un mapa de amenazas por incendios forestales en el sector rural del municipio de Tota, mediante la implementación de una nueva propuesta metodológica con el empleo de SIG.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar, compilar y adecuar información secundaria disponible tanto climatológica como cartográfica, de teledetección y altimetría para el municipio de Tota.
- Implementar un SIG con la información secundaria para la creación de los componentes.
- Modelar en ambiente SIG los datos de acuerdo con la propuesta metodológica ajustada para generar los distintos componentes o variables consideradas como determinantes de los incendios.
- Sintetizar las componentes modeladas mediante análisis espacial para producir el mapa final de amenazas por incendios forestales.
- Levantar información primaria mediante trabajo de campo que permita verificar y ajustar algunas de las variables consideradas.

3. JUSTIFICACIÓN

En el marco de la ley 1523 de 2012, la cual contempla que los incendios forestales se constituyen en un riesgo ecológico que generan pérdidas de la biodiversidad, desestabilizan ecosistemas y los ciclos naturales, afectando directamente al ambiente y al hombre, recalca que es deber de los municipios plantear estrategias para reducir el riesgo en sus territorios.

A la fecha son muy pocas las metodologías que han sido aplicadas en la zonificación de amenazas por incendios, siendo la del IDEAM (IDEAM, 2011) la única con enfoque de riesgos en condiciones climatológicas y de cobertura para Colombia, a escala 1:100.000.

Por lo anterior, el presente trabajo plantea una zonificación de amenazas por incendios forestales que se ajusta a la escala municipal 1:25.000, enfocándose en el sector rural, con base en la metodología del IDEAM, y que propone otras componentes que pueden incidir en la propagación de los incendios forestales.

Estas nuevas componentes son factibles de ser involucradas porque la data está disponible vía web en nodos de la NASA, la agencia espacial europea ESA y la agencia espacial japonesa JAXA, y son el resultado del esfuerzo continuado de muchos países por registrar los cambios en el clima terrestre con miras a comprender la complejidad de este fenómeno, así que ahora hay disponible valiosa información que es necesario capitalizar en beneficio de la sociedad.

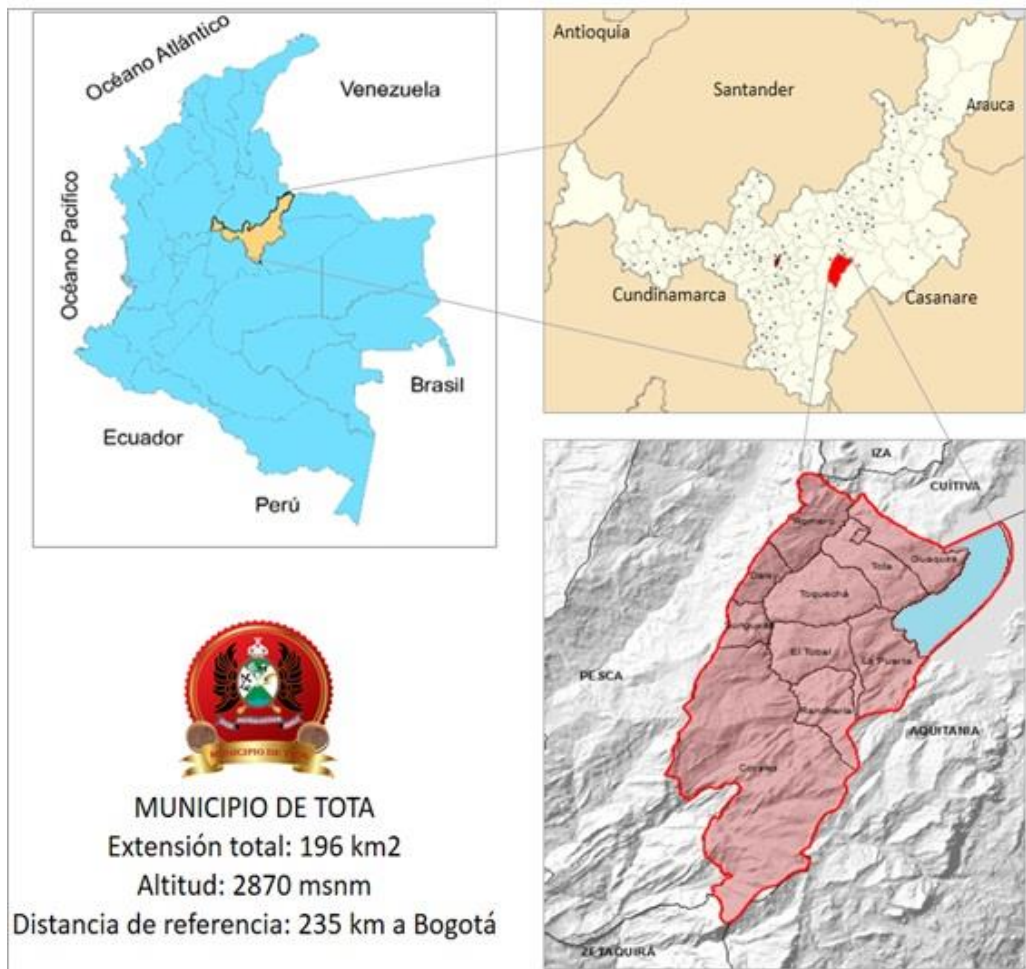
La población no debería verse afectada por fenómenos catastróficos naturales, por lo que es necesario avanzar en la investigación científica que permita un acercamiento a la comprensión de estas dinámicas tomando partido de la data disponible y las herramientas informáticas que como los SIG, permiten el modelamiento de los datos y la producción de información valiosa en la planificación del crecimiento municipal teniendo en cuenta esta amenaza para evitar situaciones que vulneren a la población.

4. GENERALIDADES

4.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El municipio de Tota se ubica en la cordillera oriental Colombiana, en el departamento de Boyacá (Figura 1), a una altura de 2870 m.s.n.m, el territorio municipal está comprendido entre coordenadas de origen Magna Colombia Bogotá $X = 1^{\circ}118.310$ $Y=1^{\circ}110.356$ al Norte; $X = 1^{\circ}1283.76$ $Y=1^{\circ}106.194$ al este; $X=1^{\circ}114.439$ $Y=1^{\circ}084.465$ al sur y finalmente al oeste $X= 1^{\circ}111.438$ $Y= 1^{\circ}092.934$ a una distancia de 234 Km de Bogotá, y a 94.7 Km de Tunja. Hidrográficamente este bordea la parte meridional del Lago de Tota desde la península de puntalarga hasta el nacimiento del Rio Upía (EOT Tota, 2000).

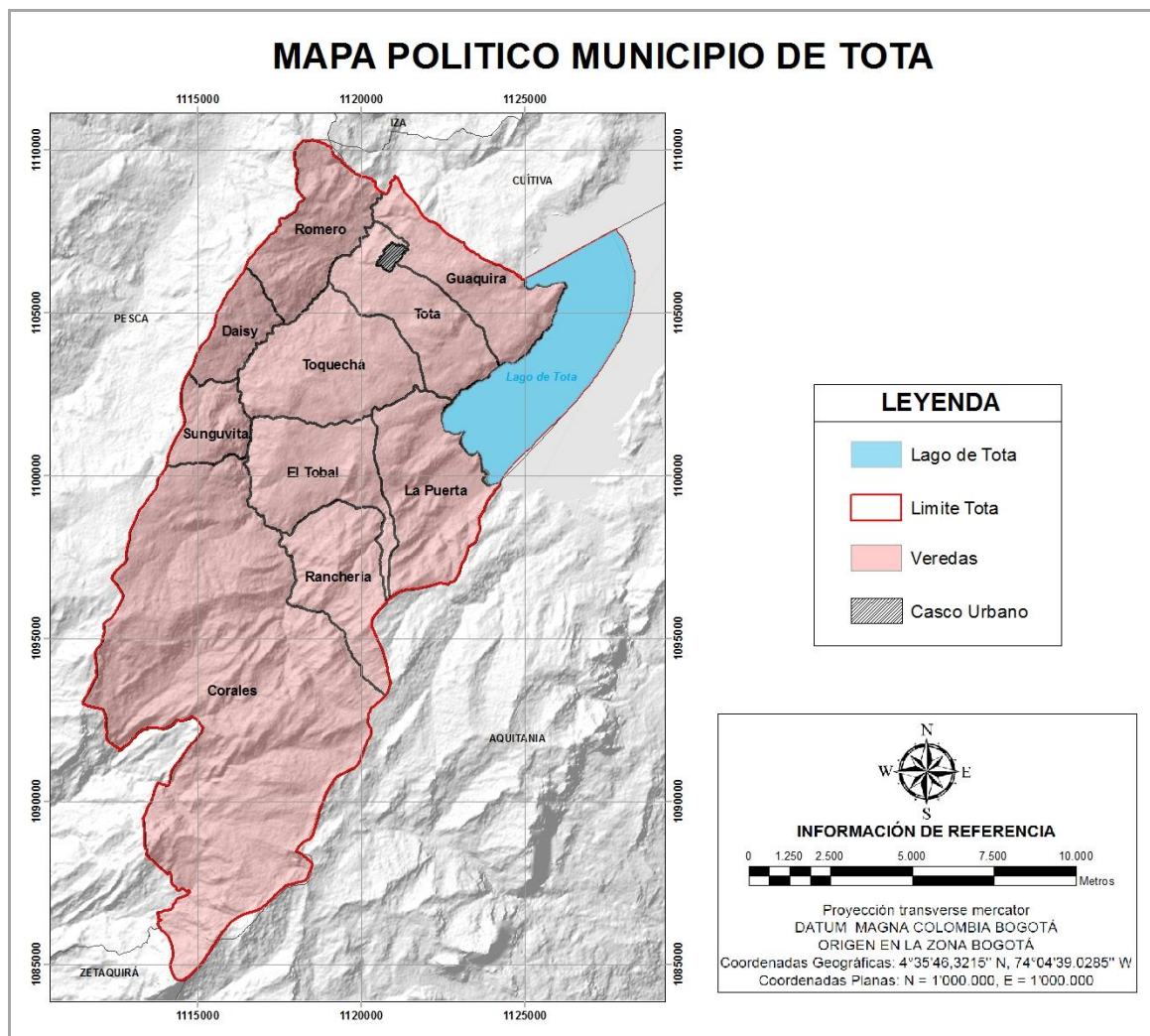
Figura 1. Localización municipio de Tota



Fuente: EOT Tota 2000, IGAC, DEM JAXA.

4.2 DIVISIÓN POLITICA

Figura 2. Mapa División Política, veredas del municipio de Tota.



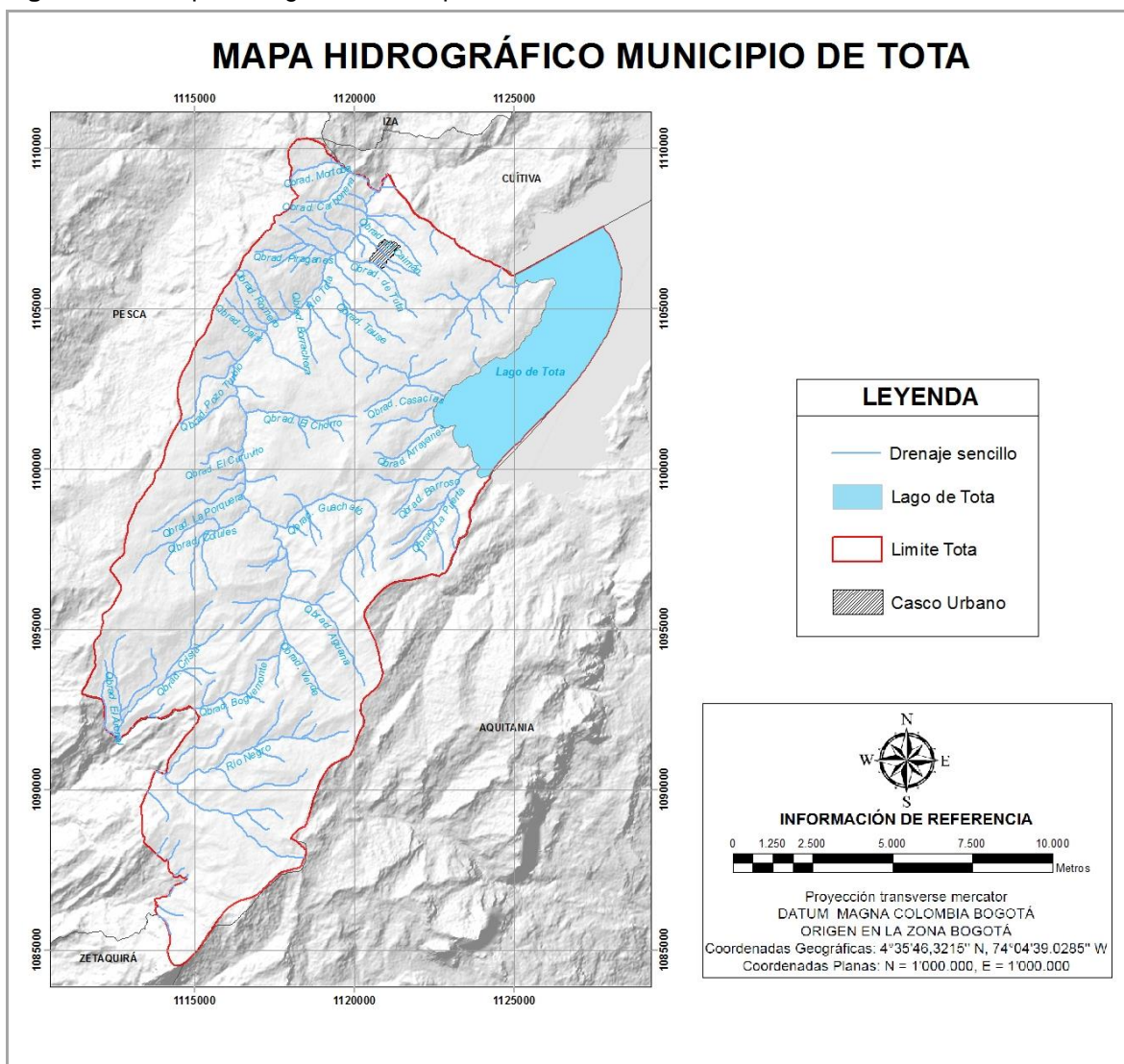
Fuente: EOT Tota 2000, IDEAM.

El municipio de Tota está conformado por 10 veredas (*figura 2*) que corresponden a:

Romero, Daisy, Toquechá, Guáquira, Tota, Sunguvita, El Tobal, La Puerta, Ranchería y Corales (EOTTota, 2000).

4.3 HIDROGRAFÍA

Figura 3. Mapa hidrográfico municipio de Tota.

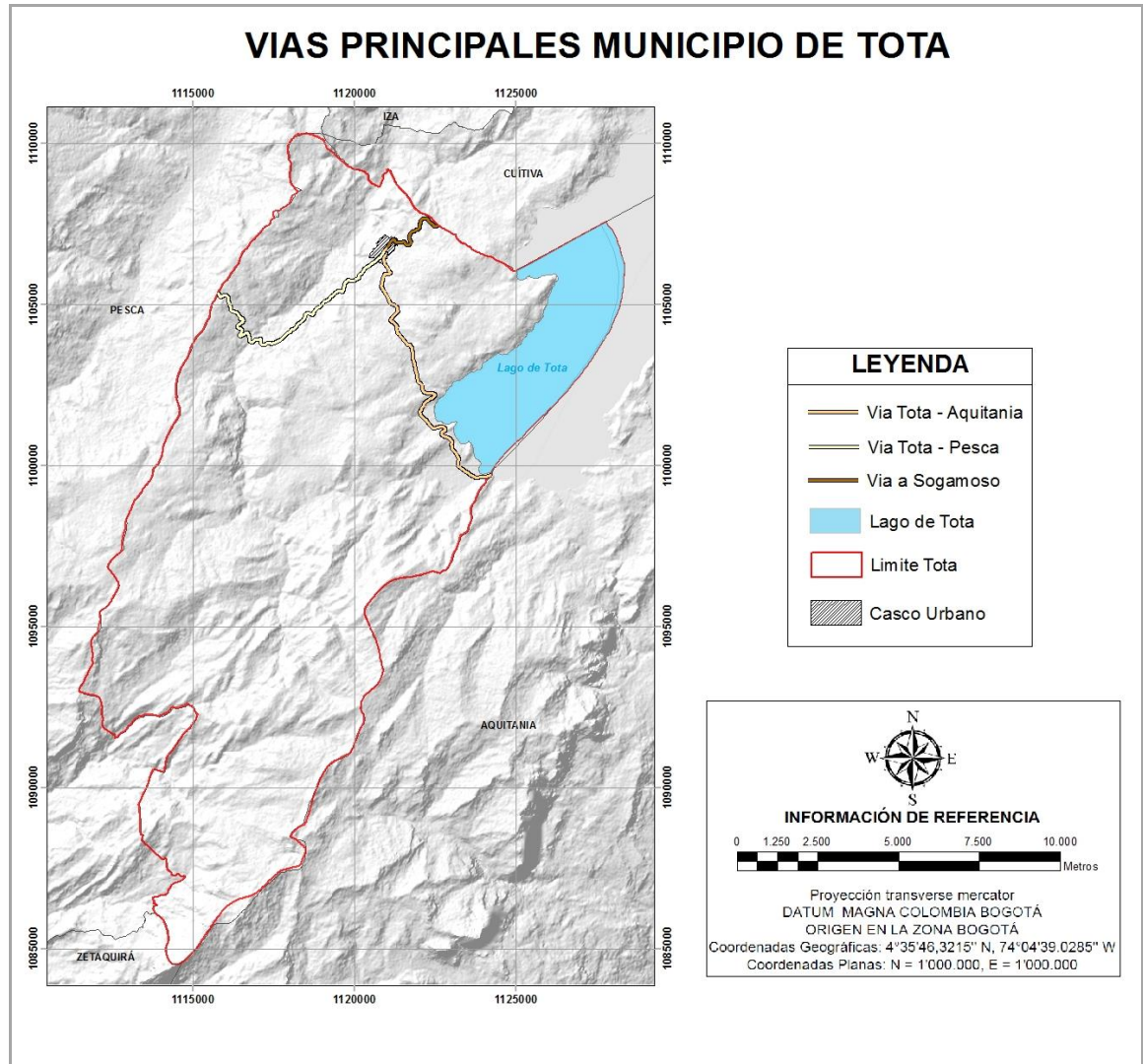


Fuente: EOT Tota 2000, IDEAM, IGAC.

Como se observa en la *Figura 3* Tota cuenta con una parte del Lago de Tota, el cual se traduce como el cuerpo de agua más importante del municipio catalogándolo como cuerpo lentic. En cuanto a cuerpos loticos se caracteriza la presencia de los ríos Tota y Negro, y quebradas tales como Romero, Daisy, El Chorro y La Porquera (IGAC, 191-192,2009).

4.4 VIAS DE ACCESO

Figura 4. Vías de primer orden que comunican al casco urbano de Tota



Fuente: EOT Tota 2000, IDEAM, IGAC

Las vías que comunican el casco urbano del municipio de Tota (*figura 4*) son la vía Sogamoso – Tota, que atraviesa los municipios de Cuitiva, Iza y Firavitoba, la vía Tota- Pesca que atraviesa las veredas Toquechá y Daisy y finalmente la vía Tota – Aquitania que atraviesa las veredas Tota y La Puerta (IGAC, 191-192,2009).

Dentro del municipio, también se presentan carreteras que intercomunican las veredas entre sí, de orden 4 a 6.

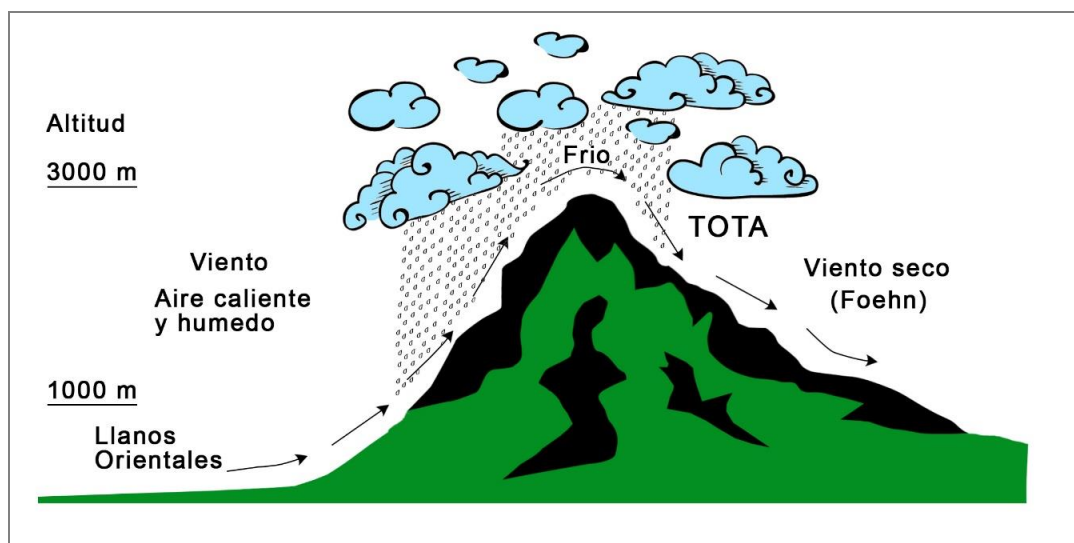
4.5 CLIMA Y VEGETACIÓN

El municipio tiene temperaturas entre 6°C a 12°C, presentando un clima frío. Su flora es característica de páramo Sub – Andino presentando hierbas y arbustos. Existen algunos sectores semidesérticos y su fauna silvestre es muy escasa. (EOT, Tota, 2000).

En cuanto al comportamiento de vientos en Tota es característico la presencia del efecto Foehn (*figura 5*), donde los vientos de los llanos orientales impulsan una masa de aire húmeda de barlovento que sube y choca con la cordillera oriental, llegando a las zonas más altas frías de los páramos obligándola a descender, por lo que se enfría de forma adiabática (no intercambia temperatura con el entorno) condensando el vapor de agua (Precipitación) y disminuyendo la cantidad de agua (Armenta P, 2013).

Durante el descenso por sotavento, el aire se recalienta por compresión adiabática, y al llegar a tierras llanas tiene una temperatura mayor a la que tenía antes de llegar a la montaña.

Figura 5. Efecto Foehn, Caso Tota.



Fuente: Autor.

4.6 GEOLOGIA

El municipio de Tota se encuentra cartografiado geológicamente en las planchas número 191 Tunja (INGEOMINAS, 191,1998) y 192 Laguna de Tota (INGEOMINAS, 192, 2009), información oficial básica de gran valor para la producción del mapa geológico a mayor grado de detalle, en este caso a escala 1:25.000 (*figura 6*). Las rocas aflorantes en el sector son de tipo sedimentario,

cubiertas en algunos sectores por depósitos recientes de tipo aluvial, coluvial y glacial².

Las formaciones identificadas en el trabajo de campo y que están ajustadas a la escala 1:25.000 son:

Formación Une (K1K2u2): Areniscas cuarzosas con intercalaciones de shales.

Formación Churuvita (K2ch): Aflora con intercalaciones de capas delgadas a gruesas con estratificación plana paralela continua de shales negro con areniscas cuarzosas de grano fino.

Formación Conejo (K2c): Niveles de Shales grises oscuros y niveles de areniscas cuarzosas.

Formación Arenisca Dura (K2d): Areniscas cuarzosas de grano muy fino a fino, se observa algo de bioturbación.

Formación Plaeners (K2p): lilitas silíceas con frecuentes niveles fosfáticos.

Formación Labor y Tierna (K2lt): Areniscas cuarzosas, de grano fino a grueso.

Formación Guaduas (K2E1g): Lodolitas prevalecientes con capas de Carbón.

Formación Socha inferior (E1si): Areniscas de cuarzo, nivel intermedio de arcillas.

Formación Socha Superior (E1ss): Arcillolitas abigarradas con intercalaciones de areniscas de poco espesor.

Formación Picacho (E2p): Areniscas conglomeráticas y conglomerados de chert de Cuarzo.

Formación Concentración (E2E3co): Arcillolitas y limolitas con intercalaciones de areniscas.

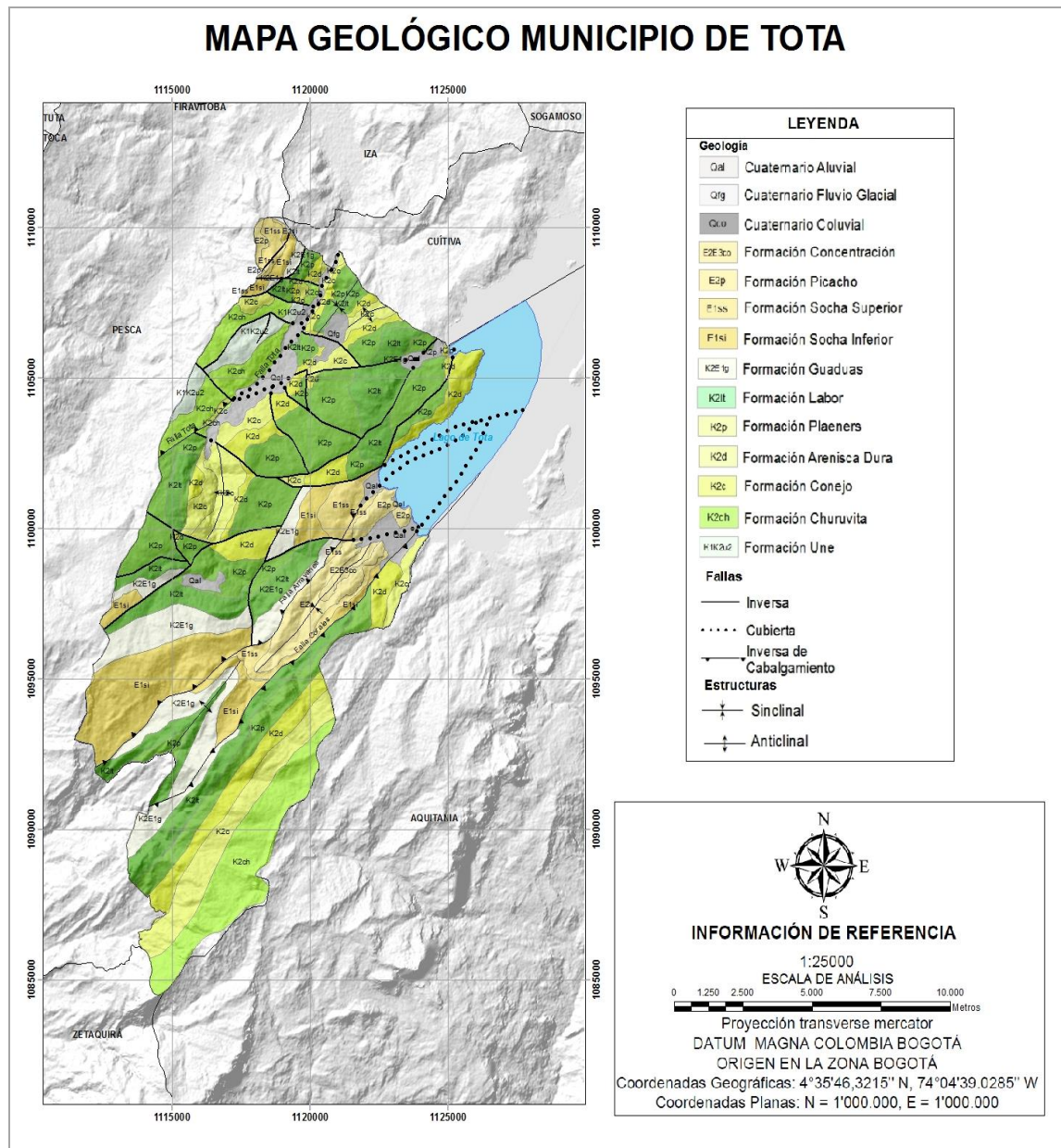
Depósito Coluvial (Qco): Conglomerados con bloques en matriz arcillosa.

Depósitos Aluviales (Qal): Conglomerados y Arcillolitas.

Depósitos fluvio-glaciares (Qfg): Conglomerados con bloques angulares.

² Geología ajustada en el terreno por autor para actualización EOT Tota 2015.

Figura 6. Mapa geológico del municipio de Tota.



Fuente: Autor.

4.7 GEOMORFOLOGÍA

La cartografía geomorfológica del municipio de Tota, se realizó a escala 1:25.000 en base a la metodología sugerida por el Servicio geológico Colombiano, (Leiva et al. 2012), donde se siguen los lineamientos generales establecidos en la metodología I.T.C (Verstappenn y Van Zuidam, 1992) con modificaciones establecidas por Carvajal (2002) de acuerdo con la experiencia de INGEOMINAS.

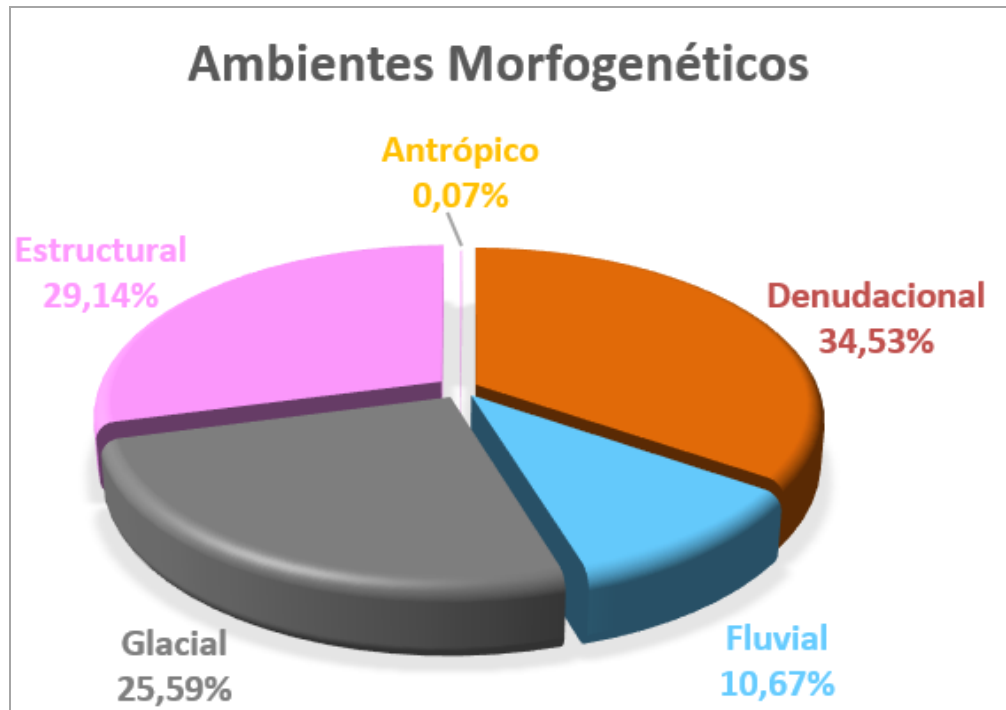
En el municipio de Tota por expresión de génesis se identificaron cinco ambientes morfogénéticos (*tabla 1*) y para su distribución espacial observar la (*Figura 7*).

Tabla 1. Áreas ambientes morfogénéticos

Ambiente	Símbolo	Área (m2)	Porcentaje
Antropogénico	A	133629,213	0,07%
Denudacional	D	67685972,950	35%
Fluvial	F	20915753,598	11%
Glacial	G	50151994,270	26%
Estructural	S	57118814,963	29%
Total		196006164,994	100%

Fuente: Autor.

Figura 7. Ambientes morfogénéticos, presentes en Tota.



Fuente: Autor.

Con los datos que se observan en la *tabla 1*, se concluye que el ambiente denudacional presenta gran predominancia en el municipio con un 35% del área total, además el 29% lo ocupa el ambiente estructural, y en menor proporción se encuentran los ambientes glacial con 26%, Fluvial con 11% y antropogénico con 0.07%.

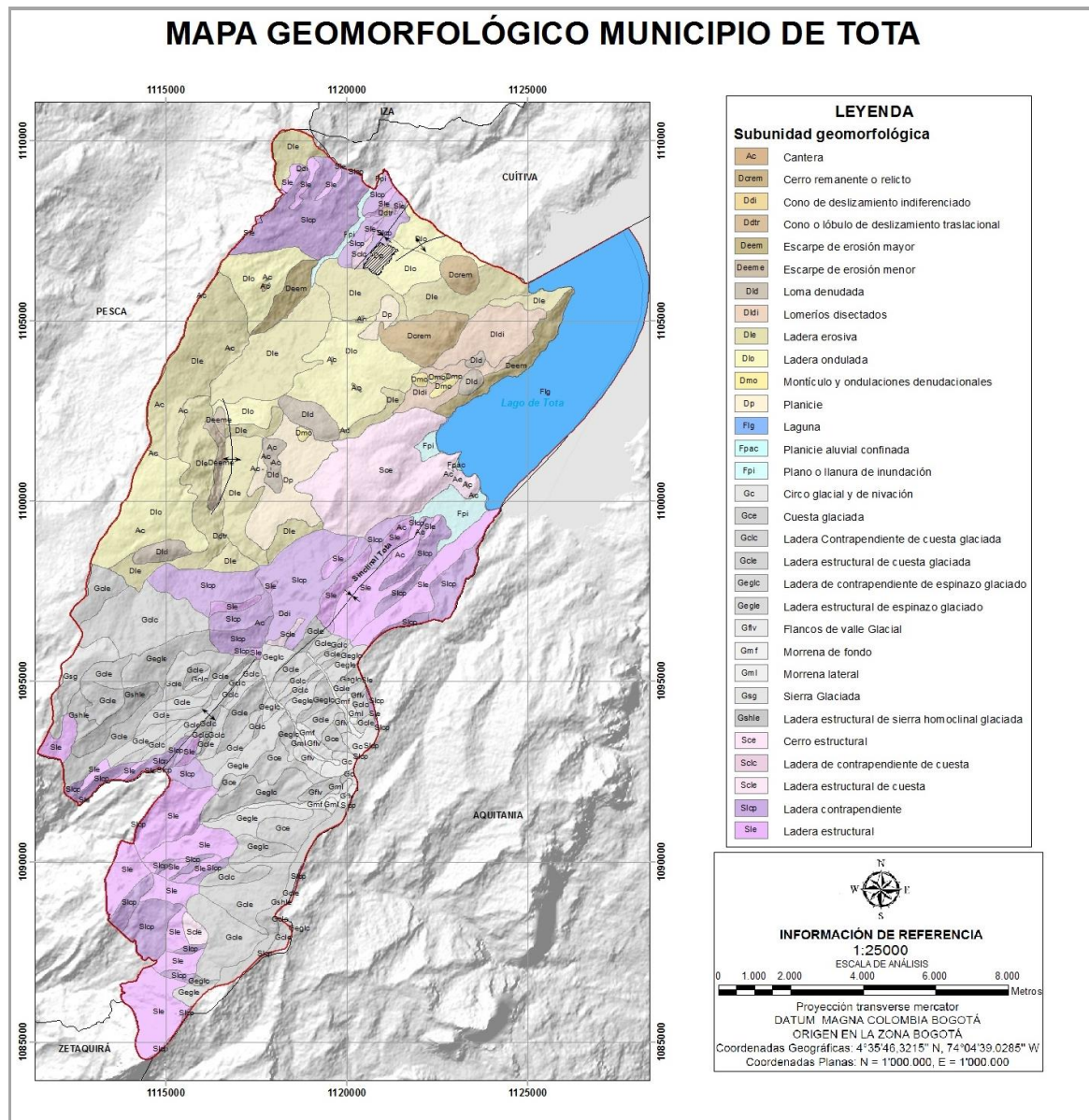
En el municipio se identificaron 31 subunidades geomorfológicas las cuales se esquematizan en la *tabla 2* y el mapa geomorfológico se puede observar en la *figura 8*.

Tabla 2. Subunidades Geomorfológicas definidas en el municipio de Tota

Código	Ambiente	Área (m ²)	Subunidad
Ac	Antropogénico	133629,21	Cantera
Dcrem	Denudacional	3332975,70	Cerro remanente o relicto
Ddi	Denudacional	15935,33	Cono de deslizamiento indiferenciado
Ddtr	Denudacional	76769,45	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional
Deem	Denudacional	3048425,51	Escarpe de erosión mayor
Deeme	Denudacional	830547,00	Escarpe de erosión menor
Dld	Denudacional	3072799,56	Loma denudada
Dldi	Denudacional	4512348,91	Lomeríos disectados
Dle	Denudacional	28934223,00	Ladera erosiva
Dlo	Denudacional	18343703,44	Ladera ondulada
Dmo	Denudacional	533736,59	Montículo y ondulaciones denudacionales
Dp	Denudacional	4984508,45	Planicie
Flg	Fluvial	18479288,53	Laguna
Fpac	Fluvial	34423,04	Planicie aluvial confinada
Fpi	Fluvial	2402042,03	Plano o llanura de inundación
Gc	Glacial	1065188,94	Circo glacial y de nivación
Gce	Glacial	2924355,48	Cuesta glaciada
Gclc	Glacial	7970913,51	Ladera Contrapendiente de cuesta glaciada
Gcle	Glacial	19086877,13	Ladera estructural de cuesta glaciada
Geglc	Glacial	5016262,63	Ladera de contrapendiente de espinazo glaciado
Gegle	Glacial	5822282,86	Ladera estructural de espinazo glaciado
Gflv	Glacial	1657142,49	Flancos de valle Glacial
Gmf	Glacial	1071581,57	Morrena de fondo
Gml	Glacial	223274,71	Morrena lateral
Gsg	Glacial	1706639,19	Sierra Glaciada
Gshle	Glacial	3607475,76	Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada
Scce	Estructural	9703834,85	Cerro estructural
Sccl	Estructural	235242,50	Ladera de contrapendiente de cuesta
Scle	Estructural	619446,17	Ladera estructural de cuesta
Slcp	Estructural	25532065,95	Ladera contrapendiente
Sle	Estructural	21028225,49	Ladera estructural

Fuente: Autor.

Figura 8. Mapa geomorfológico municipio de Tota.



Fuente: Autor.

5. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

A nivel mundial existen variadas propuestas para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de incendios forestales. Países como Canadá, Estados Unidos, España, Italia, Australia y México, han producido investigación al respecto destacándose los trabajos de (Amata, J. 2009; Andrews, P.L., Burgan, R.E., y Rothermel, R.C 1984; Chuvieco, E. D, Coceroa, D Riaño, P, Martínez, J, Martínez, J, de la Riva y F, Pérez, 2004; Forestry Canadá FIRE Danger Group, 1992; P.S. Roy, 2003; Parisien, M.A.; Rollins, Matthew G; Schmidt, K.M.; Menakis, J.P; Scott, J.H.; Burgan, R.E. 2005; The Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS); Chuvieco, E., Martí, M. & Ventura. G. 2008). Sin embargo estos trabajos han sido realizados en países con características climatológicas y de vegetación muy diferente a las de Colombia, por lo que se hace necesario analizar la posibilidad de adaptarlos a las realidades medioambientales locales. (Páramo R. Gabriel, 2011).

Como un primer estudio aplicado a Colombia se encuentra el de *susceptibilidades de las coberturas vegetales al fuego*, realizado por el Biólogo Gabriel Eduardo Paramo publicado en Marzo de 2011.

Plantea la metodología aplicable a escala 1:500.000, aclarando que es ajustable a escalas más detalladas, contemplando 4 fases:

Fase1: Definición del marco Conceptual.

Esta fase se llevó a cabo mediante una extensa revisión de la literatura existente sobre el tema, con el propósito de generar un marco teórico y conceptual o su estado actual.

Fase 2: Diagnóstico de la problemática y efectos ocasionados por los incendios de la cobertura vegetal ocurridos entre 1986 y 2005 en Colombia.

Con información obtenida de diversas entidades como por ejemplo las corporaciones autónomas, la Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres, el IDEAM, entre otras el autor realizó el diagnóstico de la problemática y los efectos ocasionados por los incendios de la cobertura vegetal en Colombia.

Fase 3: Caracterización de la condición pirogénica de la cobertura Vegetal.

A partir de la información obtenida en la anterior fase y mediante la utilización de la información espacial disponible, se buscó en esta fase poder elaborar un modelo de combustibilidad y caracterización de la condición pirogénica de la cobertura vegetal del país. La caracterización de la condición pirogénica de la vegetación se fundamentó en la identificación, descripción y cualificación de los tipos de combustibles, y desarrolló y estableció los siguientes parámetros característicos (*figura 9*):

- Carga de combustible.

- Tipo del combustible.
- Disposición espacial del combustible.
- Duración del material combustible.
- Humedad del combustible.

Fase 4: Generación del mapa de susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios Forestales.

A partir de la caracterización y espacialización de la condición pirogénica de las coberturas vegetales y mediante la unión y análisis espaciales necesarios se produjo el mapa final de susceptibilidad. La ponderación y calificación final de la susceptibilidad total de la cobertura a los incendios forestales se presentaron en un mapa a escala 1:500.000.

Figura 9. Rangos de calificación de factores más relevantes para hallar el mapa de susceptibilidad total de la cobertura.

a) Influencia del fuego sobre los ecosistemas.		b) Tipo de combustibles	
No combustibles	1	Árboles	2
Áreas Urbanas	1	Árboles y arbustos	3
Independientes	2	Arbustos	4
Sensibles	3	Hierbas	5
Influidos	4	Pastos / hierbas	6
Dependientes	5	Pastos	7
		No combustibles	1
		Áreas urbanas	1
c) Duración de los combustibles		d) Carga total de combustible	
No combustibles	1	No combustibles	1
Áreas urbanas	1	Áreas urbanas	1
100 horas	2	Baja	2
10 horas	3	Moderada	3
1 hora	4	Muy Alta	4

Fuente: Paramo, Gabriel.2011

Para noviembre del mismo año 2011, se realiza otro trabajo de incendios forestales, por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales (IDEAM), donde Gabriel Paramo también forma parte de la ejecución de este.

En este estudio se plantean definiciones básicas relacionadas a la temática de Riesgos de la cobertura, de las cuales para efecto del presente trabajo cabe mencionar:

Incendio de la cobertura vegetal: Se define como el fuego que se propaga, sin control sobre la cobertura vegetal, cuya quema no estaba prevista.

Amenaza: Peligro latente que representa la posible manifestación de un fenómeno particular (en este caso, un incendio de la cobertura vegetal), de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un territorio particular, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios, y el ambiente.

Es un factor de riesgo sobre un elemento o grupo de elementos expuestos (vegetación), que se expresa como la probabilidad de que un evento (incendio) se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y en un tiempo definido.

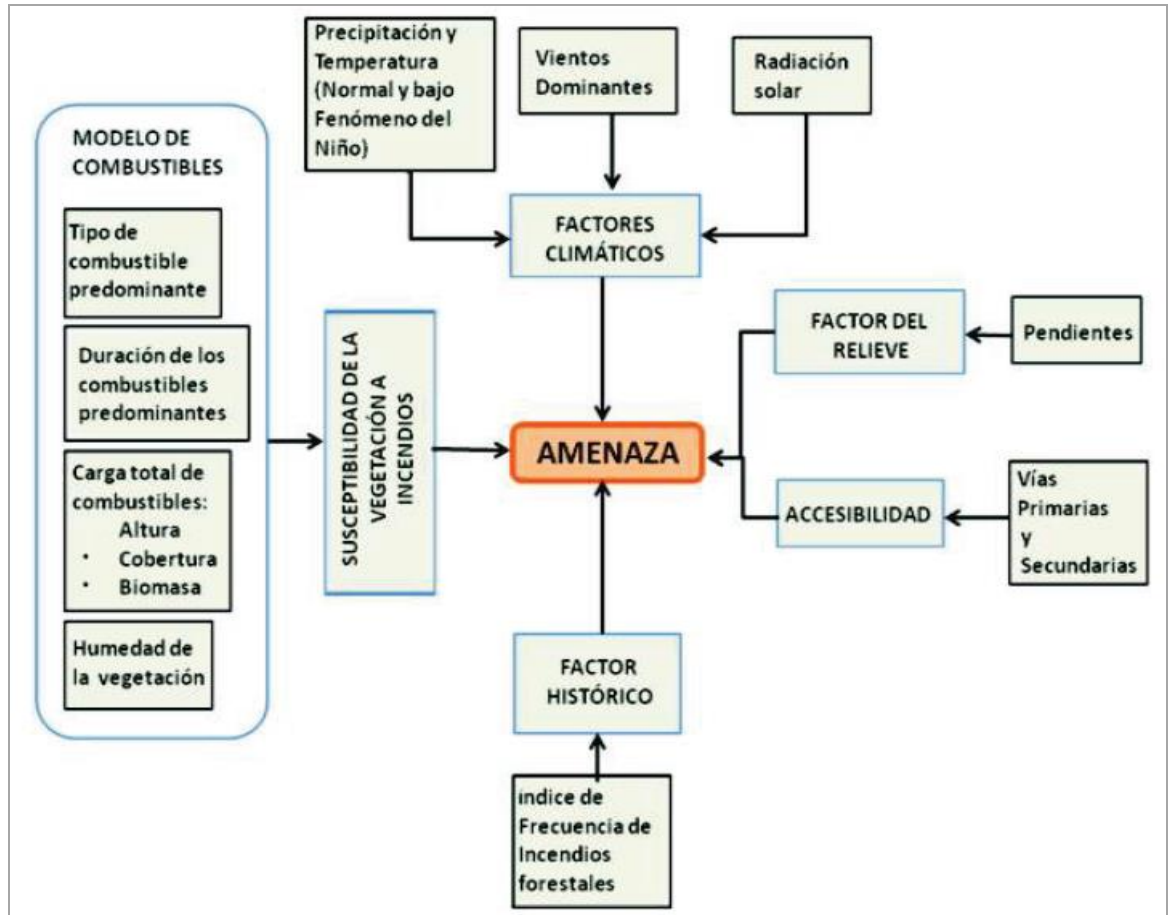
Susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal: Características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego. Hace parte de la amenaza.

La metodología se fundamenta en evaluación de cada uno de los componentes del riesgo, esto es la amenaza y la vulnerabilidad, a través de una metodología paramétrica, con enfoque espacial apoyada en sistemas de información geográfica, aproximación metodológica que se basa en la ponderación y calificación secuencial de los diversos factores generadores de amenaza y vulnerabilidad a incendios forestales, para así llegar a la identificación del riesgo (IDEAM 2011).

La *figura 10*, indica los factores necesarios para obtener el mapa de amenazas, que corresponden a factor relieve, factores climáticos, factor histórico, accesibilidad y susceptibilidad de la vegetación a incendios forestales.

Es importante puntualizar, que aunque en los factores climáticos están mencionadas las categorías *Vientos dominantes* y *Radiación solar*, estos NO están aplicados dentro de la metodología formulada por el IDEAM, por ende no hay una indicación precisa del manejo de este tipo de datos, sino que solamente son sugeridos por el autor para su aplicación.

Figura 10. Interrelación entre los factores de amenaza de incendios de la cobertura vegetal.



Fuente:(IDEAM 2011).

6. METODOLOGÍA: ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INCENDIOS FORESTALES A ESCALA 1:25.000

6.1 CONCEPTOS APLICADOS EN LA METODOLOGÍA DE TRABAJOS ANTERIORES

Como se ha planteado la base metodológica de este trabajo, es la propuesta por el IDEAM en su publicación. Esta metodología fue enriquecida y adaptada a una escala más detallada 1:25.000 para lo cual se tuvieron en cuenta los siguientes factores, respetando los rangos de calificación que establecen.

6.1.1 Susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios

Para obtener el mapa de susceptibilidad, se partió del mapa de cobertura, con el cual se generaron 3 mapas que corresponden a: 1) Mapa de tipo de combustibles, 2) Mapa de duración de combustibles y 3) Mapa de carga de combustibles.

Finalmente estos tres mapas se sumaron y se obtuvo el mapa de susceptibilidad de la cobertura vegetal que tiene 5 categorías: Muy baja, Baja, Moderada, Alta y Muy Alta de acuerdo a las categorías de IDEAM, 2011.

6.1.2 Factores climáticos

Partiendo de la información climatológica, se realizaron los mapas de precipitación y de temperatura, donde los datos iniciales que son obtenidos mensualmente, se transforman a datos medios anuales que se reclasificaron en 5 categorías según IDEAM, 2011.

6.1.3 Factor relieve

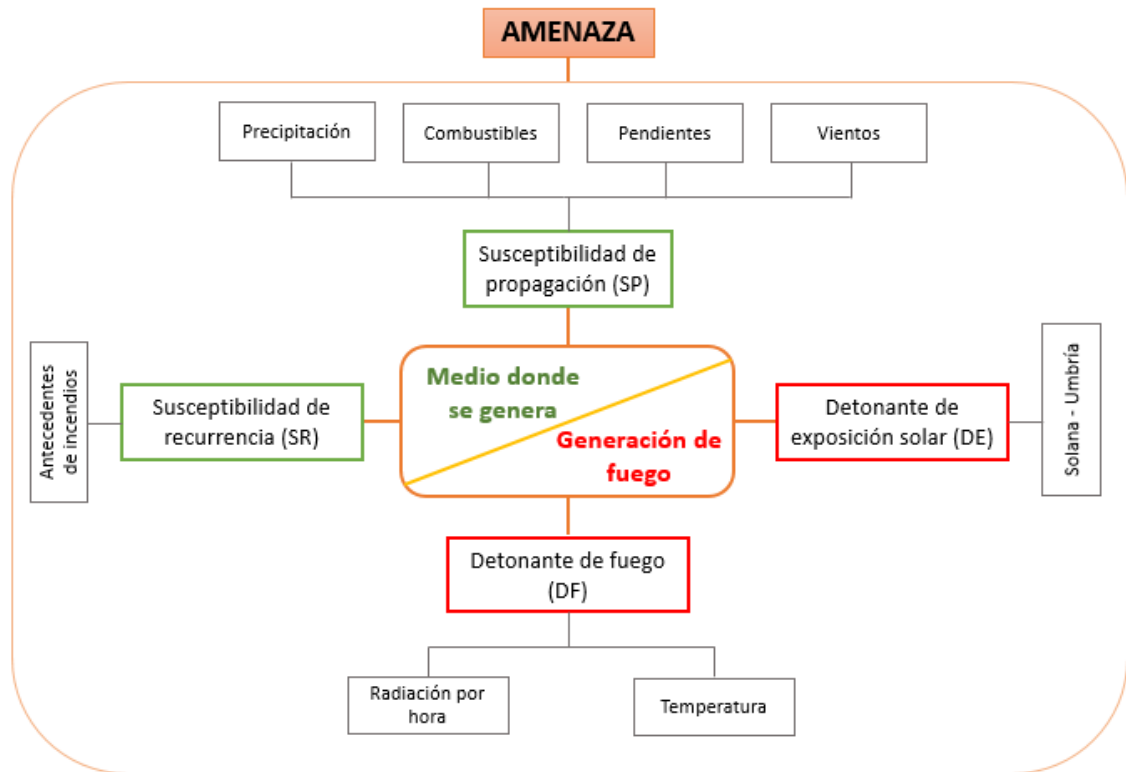
Partiendo de un modelo digital de elevación DEM, se realizó un mapa de pendientes y finalmente clasificado en 5 categorías según IDEAM, 2011.

6.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Los **factores** mencionados anteriormente, se modificaron en la metodología propuesta a escala 1:25.000, a **componentes**, que en este caso son (*figura 11*).

También se tuvieron en cuenta términos referentes a *susceptibilidad* y *detonante*, en las que se catalogan cada una de las 8 componentes según el papel que desempeñan en la amenaza.

Figura 11. Esquema modificado de la amenaza por incendios forestales.



Fuente: El autor.

6.2.1 Antecedentes de incendios

En algunas ocasiones los municipios no cuentan con un historial de incendios, ya que por lo general dentro de ellos no hay estación de bomberos y los datos históricos dependen de ciudades aledañas, pero la calidad de la información no es la óptima o por lo general no existe.

El procesamiento de imágenes Landsat ETM puede brindar una información valiosa en lo que respecta a la indicación de áreas quemadas en la imagen. El servicio geológico de los estados unidos (USGS) y el servicio de parques nacionales de Estados Unidos, desarrollaron un índice de gravedad de la quemadura, empleando las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 7(infrarrojo medio) (Aber.J 2004).

Estas bandas proporcionan el mejor contraste entre la vegetación fotosintéticamente saludable y la vegetación quemada (Howardes.al.2002). Las dos bandas se combinan en una *relación normalizada de incendio* (NBR).

Por practicidad el USGS, proporciona imágenes Landsat NBR ya procesadas, realizando la respectiva solicitud.³ La lista de las imágenes solicitadas para Tota puede apreciarse en el *Anexo 1*.

De acuerdo con los niveles digitales de las imágenes NBR, los científicos de la NASA proponen los siguientes umbrales de clasificación que corresponden a la condición de la vegetación (*figura 12*):

Figura 12. Nivel de severidad de la vegetación, de acuerdo a los rangos del NBR.

<u>SEVERITY LEVEL</u>	<u>ΔNBR RANGE</u>
Enhanced Regrowth, High	-500 to -251
Enhanced Regrowth, Low	-250 to -101
Unburned	-100 to +99
Low Severity	+100 to +269
Moderate-low Severity	+270 to +439
Moderate-high Severity	+440 to +659
High Severity	+660 to +1300

Fuente: FIREMON BR Cheat Sheet V4, 2004.

Para la aplicación en la zonificación, se recaudó la mayor cantidad de imágenes NBR de diversos años, que preferencialmente estaban libres de nubosidad. A continuación se reclasifico cada imagen en los siguientes 5 rangos de amenaza (*Tabla 3*).

Tabla 3. Ajuste de nivel de severidad de la vegetación en 5 categorías

Nivel de severidad	Rangos NBR	Categoría de amenaza	Calificación
Recrecimiento mejorado Alto	-500 a -251	Baja	2
Recrecimiento mejorado Bajo	-250 a -101		
No quemado	-100 a 99	Muy baja	1
Baja severidad	100 a 269	Moderado	3
Moderadamente baja severidad	270 a 439		
Moderadamente Alta severidad	440 a 659	Alta	4
Alta severidad	660 a 1300	Muy Alta	5

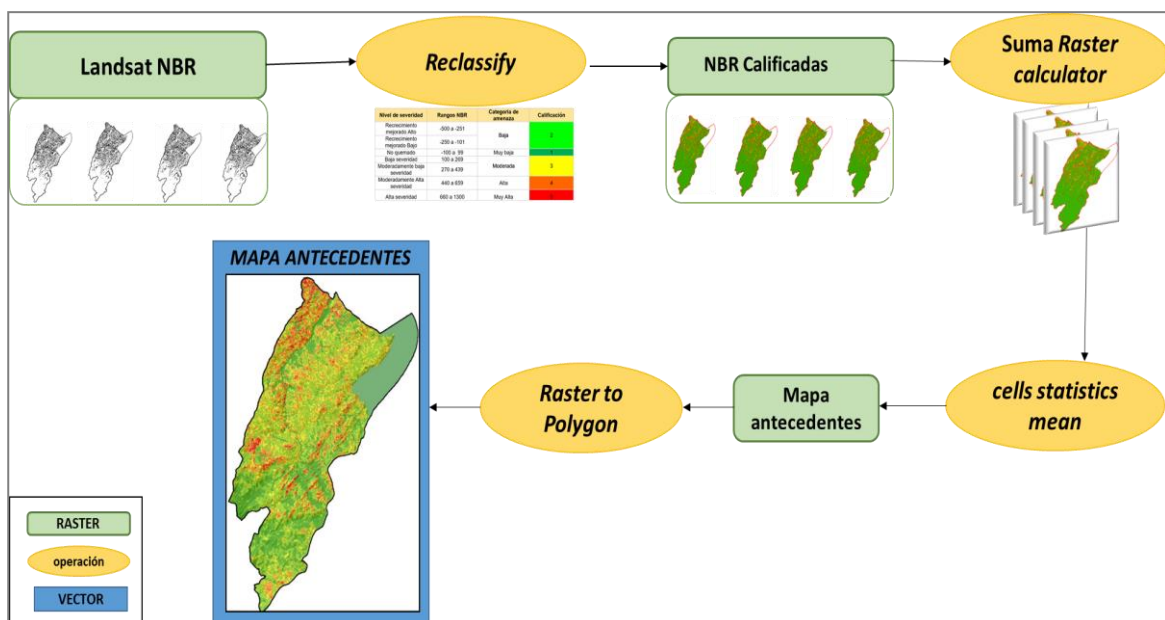
Fuente: Ajuste propuesto por Autor.

³ Para obtener imágenes NBR se pueden descargar en el siguiente link, de la página del USGS <https://espa.cr.usgs.gov/login?next=https%3A%2F%2Fespa.cr.usgs.gov%2F>.

Es importante aclarar que existen casos en el que los niveles digitales de las imágenes sobrepasan los umbrales propuestos de NBR, tanto en los negativos como en los positivos, estos errores pueden presentarse por falta de registro, presencia de nubes u otros factores no relacionados con las diferencias de cobertura de suelo reales (FIREMON BR Cheat Sheet V4, 2004). En estos umbrales, la calificación puede considerarse también como 1.

Para obtener el resultado final se suman las imágenes anteriores con la herramienta *raster calculator* y un promedio con la herramienta *cells statistics mean* de ArcGIS (figura 13).

Figura 13. Flujo de modelamiento imágenes Landsat 5-7-8 NBR, para obtener mapa de antecedentes de incendios en Tota.



Fuente: Autor.

El mapa de *antecedentes de incendios* no representa las zonas donde hubo incendios, sino la recurrencia y/o el recremento de la vegetación, esto quiere decir que si se presentó un incendio en determinado sitio y al transcurrir el tiempo se recuperó, no hubo reincidencia y por ende esta zona no es incendiaria fácilmente, a diferencia de zonas en las que si se repitió el evento.

Como consecuencia, esta componente hace parte de la *susceptibilidad de recurrencia*, teniendo en cuenta que una susceptibilidad corresponde a la probabilidad de repetición del evento en el mismo sector, en diversos lapsos de tiempo.

6.2.2 Precipitación

La precipitación es fundamental para esta zonificación ya que ésta controla la cantidad de agua presente en el ambiente, considerando que existen temporadas de continuas precipitaciones y otras de escasas que son de especial interés para el estudio.

Para esta componente se propone el manejo de datos climatológicos mensuales en formato raster, descargables de la web de la base de datos de NEO (NASA earth Observations) las cuales se obtuvieron en formato Geo TIFF (punto flotante), más aptas para análisis.

Estas imágenes satelitales capturadas por la NASA y la agencia espacial japonesa (JAXA), proporcionan un muestreo de la precipitación, que indican donde y cuanta lluvia cayó medida en milímetros (TRMM), el tamaño de pixel es de 27 km².⁴

Para extraer la información de lluvia de estas imágenes se siguieron los siguientes pasos (*figura 14*):

- Se descargaron las imágenes mensuales globales de los años disponibles, para Tota se descargaron imágenes desde el año 2000 hasta el año 2015.
- Se agruparon por año con la opción *stack layers* del software ERDAS IMAGINE.
- Con base en los pixeles del área de trabajo, se crea una capa de vectores tipo punto (Shape file) digitalizándolos en el centro de cada pixel, los cuales se asimilan a “estaciones” que para el municipio de Tota son 16.
- Con la opción *extract multi values to points* de Arcgis, se dota a cada uno de estos puntos con el valor de precipitación de los 12 meses por cada año en su respectiva tabla de atributos.
- Se interpolan los puntos “estaciones” de cada uno de los meses con la herramienta *IDW* de ArcGis.
- Se halla la precipitación media anual por mes interpolado de todos los años aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{PRECIPITACION MEDIA ANUAL} = \frac{\sum(\text{Ene } 1 + \text{Ene } 2 + \dots + \text{Ene } n) + (\text{Feb } 1 + \text{Feb } 2 + \dots + \text{Feb } n) + \dots + (\text{Dic } 1 + \text{Dic } 2 + \dots + \text{Dic } n)}{N}$$

Donde *n* es el número del año y *N* es el número total de años que tienen dato.

- La imagen resultante se reclasifica con los rangos de precipitación que plantea el IDEAM (*tabla 4*), de esta manera:

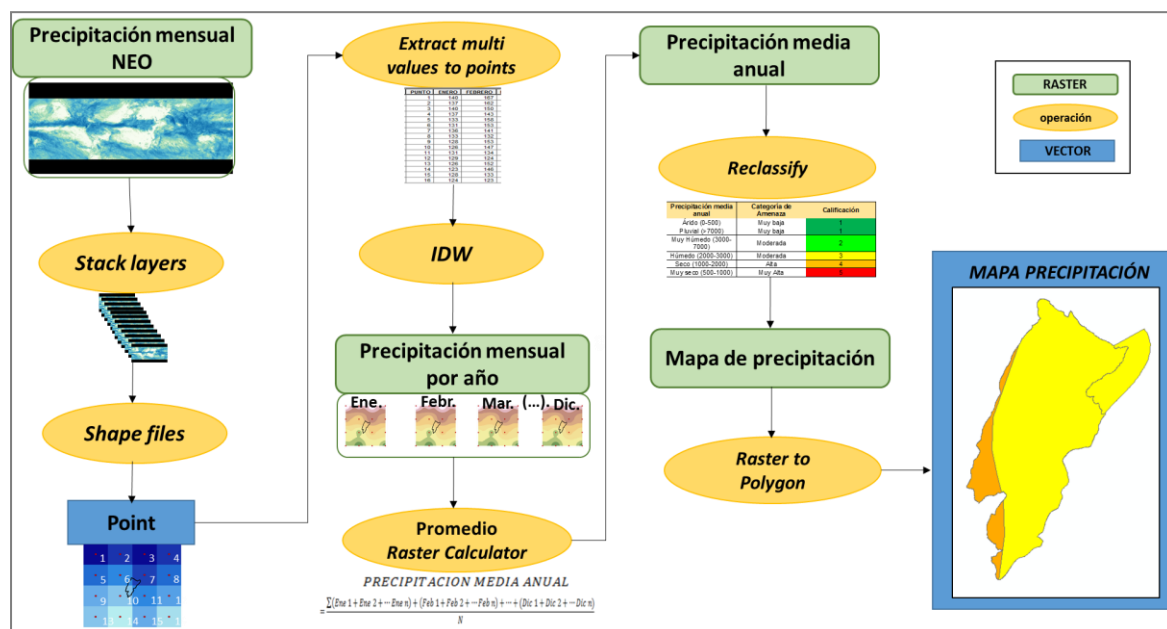
⁴ Para descargar las imágenes NEO de precipitación http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=TRMM_3B43M

Tabla 4. Rangos de calificación precipitación 5 categorías.

Precipitación media anual	Categoría de Amenaza	Calificación
Árido (0-500)	Muy baja	1
Pluvial (>7000)	Muy baja	1
Muy Húmedo (3000-7000)	Moderada	2
Húmedo (2000-3000)	Moderada	3
Seco (1000-2000)	Alta	4
Muy seco (500-1000)	Muy Alta	5

Fuente: (IDEAM 2011).

Figura 14. Modelamiento de datos para la obtención del mapa de precipitación.



Fuente: Autor.

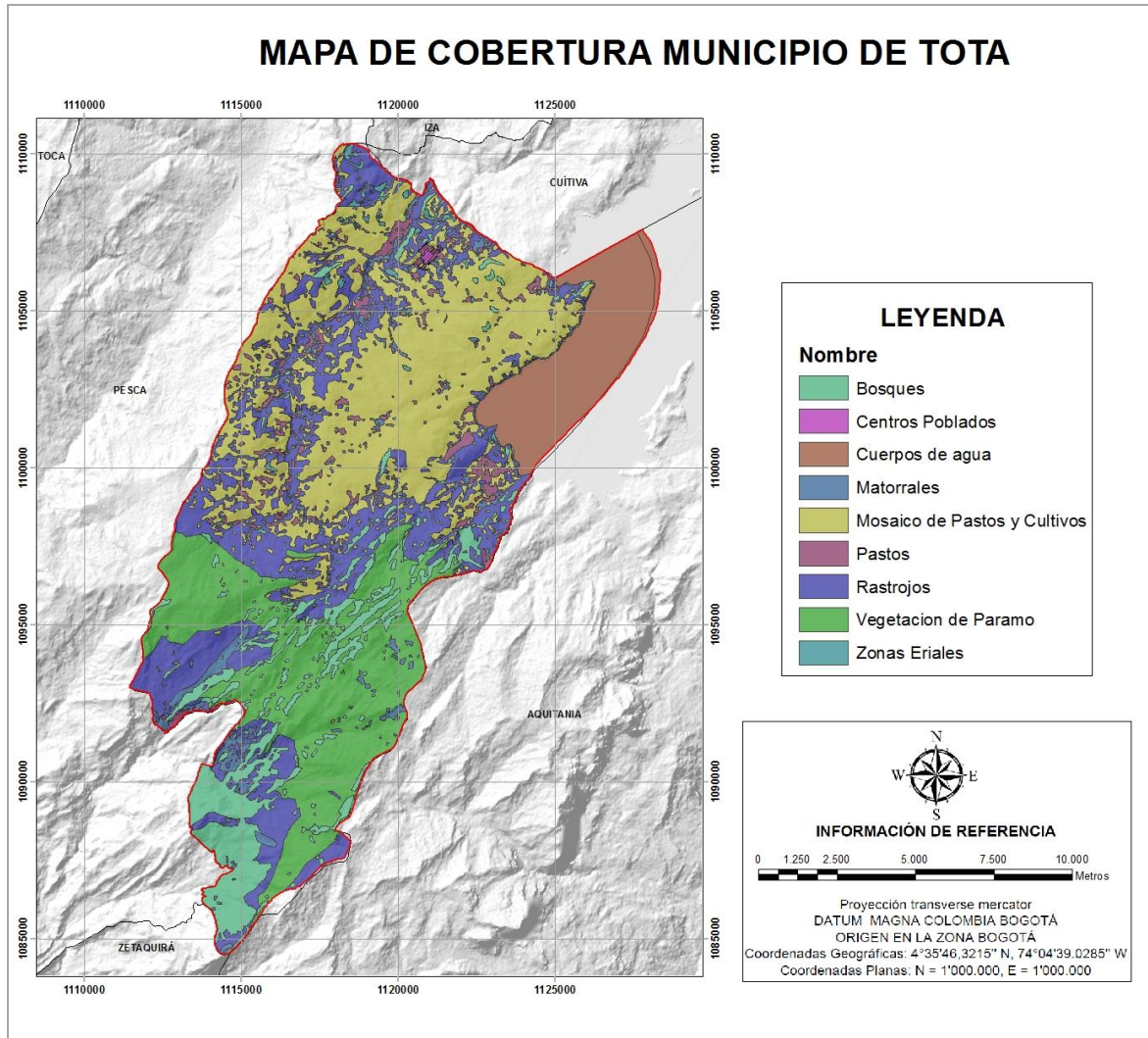
6.2.3 Combustibles

Como el análisis se plantea para la cobertura vegetal, en esta componente se realizan tres mapas de combustibles como lo propone el IDEAM (Anexo 2), sólo que la componente combustible es parte ahora de la susceptibilidad por propagación.

El primer paso fue la producción de un mapa de cobertura (Figura 15). Para Tota se realizó mediante una clasificación supervisada usando la opción MINDIST a

partir de una imagen satelital de Landsat 8 usando las tres bandas RGB 753 que finalmente se realiza la conversión a vector (*figura 16*).

Figura 15. Mapa de cobertura vegetal en el municipio de Tota.



Fuente: Autor.

6.2.3.1 Generación del mapa de tipo de combustibles:

Dado que “los combustibles vegetales son cualquier material vegetal vivo o muerto que puede entrar en combustión al aplicársele calor y que según su tamaño pueden ejercer mayor o menor resistencia a la combustión por su contenido de humedad, su composición química, etc., pueden tener diferentes grados de condición calórica y de velocidad de encendido”(Páramo R. Gabriel 2011) y por tanto son considerados en la metodología del IDEAM.

A partir del mapa se realiza una reclasificación de tipo de cobertura a tipo de combustibles predominantes (*tabla 5*). El listado total de las diversas coberturas según la clasificación de combustibles (IDEAM, 2011), puede apreciarse en el *Anexo 2*.

Para cada de tipo de combustible se asigna un valor de calificación (*tabla 6*).

Tabla 5. Interpretación tipos de cobertura a combustible predominante Tota.

Tipo de cobertura	Tipo de combustible predominante
Bosques	Árboles
Rastrojos	Árbustos
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
Vegetación de Páramo	Pastos/hierbas
Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/hierbas
Matorrales	Arbustos
Pastos	Pastos
Centros Poblados	No combustibles
Zonas Eriales	No Combustibles

Fuente: (IDEAM 2011).

Tabla 6. Calificación tipo de combustible predominante Tota.

Tipo de combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
Arboles	Baja	2
Arbustos	Alta	4
Pastos/hierbas	Muy alta	5
Pastos	Muy alta	5
No Combustibles	Muy baja	1

Fuente: (IDEAM 2011).

6.2.3.2 Generación del mapa de duración de combustibles:

La siguiente categoría en el modelo de combustibles desarrollado consiste en su clasificación por la duración del proceso de ignición, factor de alta importancia para entender la capacidad pirogénica de la vegetación, ya que la duración del combustible expresa de una forma indirecta qué tan peligroso puede ser un incendio (Páramo R. Gabriel 2011).

Con el tipo de cobertura, se procede a clasificar ahora con la duración de combustible predominante (*Anexo 2*), en donde menor duración, mayor

calificación. En Tota se presenta la *tabla 7*, donde posteriormente se califica la categoría de amenaza de 1 a 5 (*tabla 8*).

Tabla 7. Duración de combustibles según el tipo de cobertura Tota.

Tipo de cobertura	Duración de combustible predominantes
Zonas Eriales	No combustibles
Centros Poblados	No combustibles
Bosques	100 horas
Cuerpos de Agua	No combustibles
Vegetación de Paramo	1 hora
Mosaico de pastos y cultivos	1 hora
Matorrales	100 horas
Pastos	1 hora
Rastrojos	100 horas

Fuente: (IDEAM 2011).

Tabla 8. Calificación duración de los combustibles.

Tipo de combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustibles	Muy baja	1
Áreas Urbanas	Muy baja	1
100 horas (pred. de árboles)	Baja	2
10 horas (pred. arbustos y hierbas)	Moderada	3
1 hora (predominio de pastos)	Alta	4

Fuente: (IDEAM 2011).

6.2.3.3 Generación del mapa de carga de combustibles:

La carga total de combustibles se expresa en términos de los valores obtenidos a partir de la suma del peso ponderado de cuatro factores fundamentales que definen la combustibilidad de la vegetación: altura, cobertura (proyección de la vegetación sobre el suelo), biomasa aérea total y humedad de la vegetación (Páramo R. Gabriel 2011).

Con el tipo de cobertura, se procede a clasificar la carga total de combustibles predominante (*Anexo 2*). Para Tota se presenta la *tabla 8*, donde posteriormente se califica la categoría de amenaza de 1 a 5 (*tabla 10*).

Tabla 9. Carga total de combustibles según el tipo de cobertura Tota.

Tipo de cobertura	Carga Total de combustibles
Zonas Eriales	No combustible
Centros Poblados	No combustible
Bosques	Muy Alta (más de 100 ton/ha)
Cuerpos de Agua	No combustibles
Vegetación de Paramo	Moderada (50-100 ton/ha)
Mosaico de pastos y cultivos	Moderada (50-100 ton/ha)
Matorrales	Muy Alta (más de 100 ton/ha)
Pastos	Baja (1 – 50 ton/ha)
Rastrojos	Muy Alta (más de 100 ton/ha)

Fuente: (IDEAM 2011).

Tabla 10. Calificación Carga de combustibles.

Carga total de combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustibles	Muy baja	1
Muy Alta (más de 100 ton/ha)	Alta	4
Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
Baja (1 – 50 ton/ha)	Baja	2

Fuente: (IDEAM 2011).

6.2.3.4 Generación del mapa de combustibles

Una vez reclasificados los factores por cada tipo de cobertura vegetal de cada polígono, se suman los tres atributos con la opción *Field Calculator* (figura 16).

$$SUMA = MAPACAL(tc) + MAPACAL(dc) + MAPACAL(ct)$$

tc: Tipo de combustible dc: Duración de combustible ct: Carga total

Fuente: Autor modificado de IDEAM 2011.

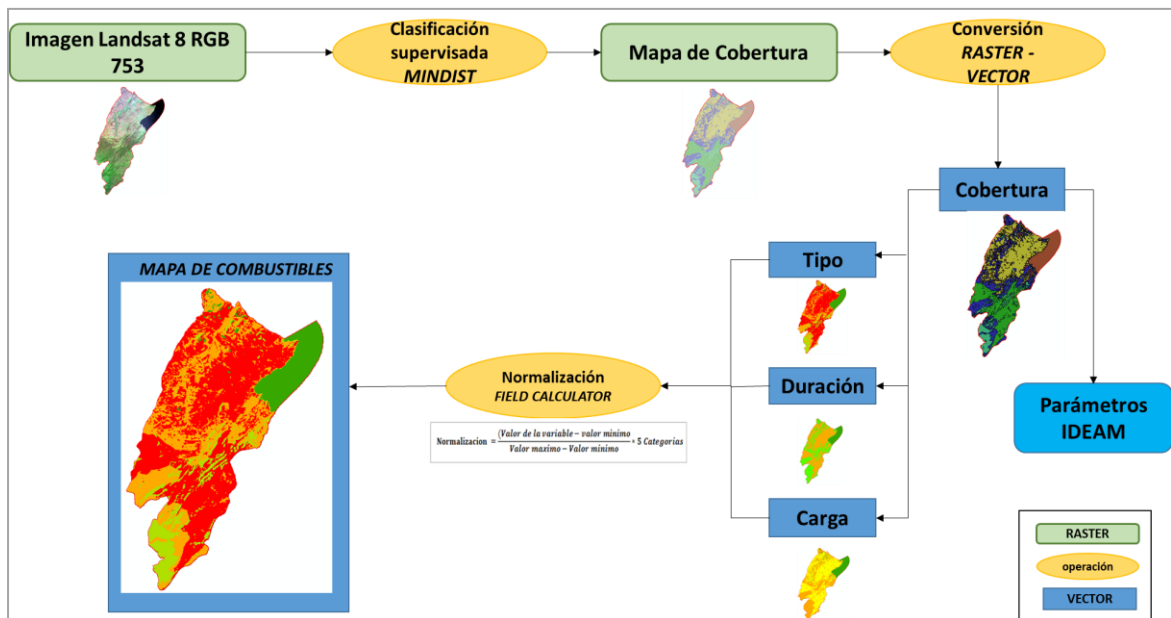
Para obtener el mapa final de combustibles con 5 categorías, se realizó la siguiente normalización de datos:

$$Normalizacion = \frac{(Valor\ de\ la\ variable - valor\ minimo)}{Valor\ maximo - Valor\ minimo} * 5\ Categorías$$

Teniendo en cuenta que el valor de la variable será el resultado de la *SUMA* de combustibles de cada polígono existente.

Las normalización se realiza con la opción *field calculator* de ArcGis.

Figura 16. Modelamiento para obtener mapa de Combustibles en Tota.



Fuente: Autor.

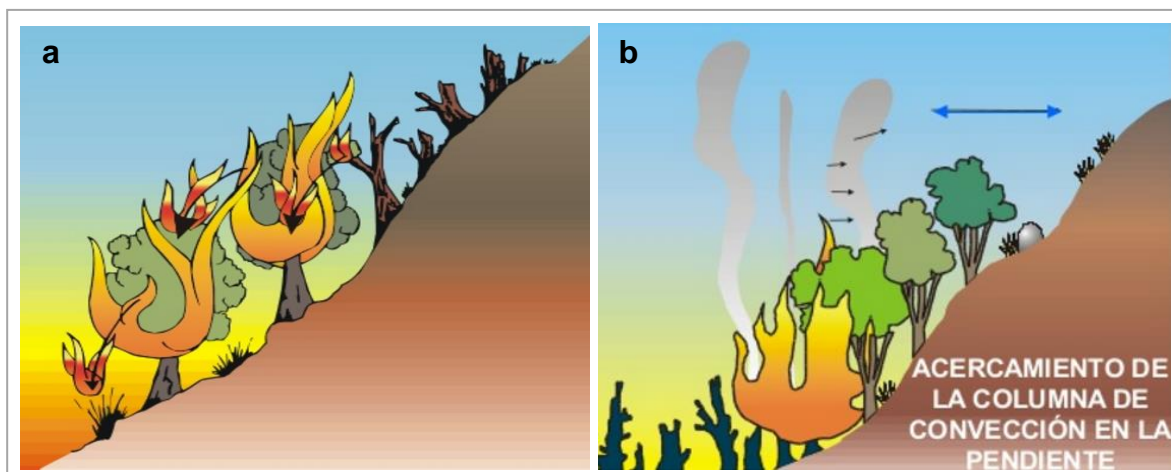
6.2.4 Pendientes

Es uno de los factores topográficos relevantes ya que cambios en la pendiente producen efectos directos e importantes en el comportamiento del incendio.

Este componente se entrelaza con otros, por ejemplo con la cobertura vegetal, ya que la transferencia de calor aumenta cuando los combustibles se sitúan pendiente arriba respecto al incendio, otro sería el viento el cual ventila el incendio suministrándole más oxígeno e inclinando las llamas hacia los combustibles, o los combustibles se muestran próximos entre ellos, aumentando el calor radiado o conducido.

Por tanto, sin depender si el incendio va ladera arriba o abajo, entre más pendiente más cerca estará la columna convectiva de los combustibles y más rápida será la velocidad de propagación (*Figura 17*).

Figura 17. Propagación de un incendio en función de la pendiente, a) A favor de la pendiente, b) En contra de la pendiente.



Fuente: Manual Sobre Incendios Forestales, Grupo Tragsa.

Este componente se genera a partir del modelo digital de elevación de resolución espacial 12.5 m de la agencia Japonesa Jaxa en colaboración con la NASA⁵, con la herramienta de Arcgis *Slope*, se generan las pendientes en grados, para luego reclasificarlas (*Reclassify*) (Figura 18):

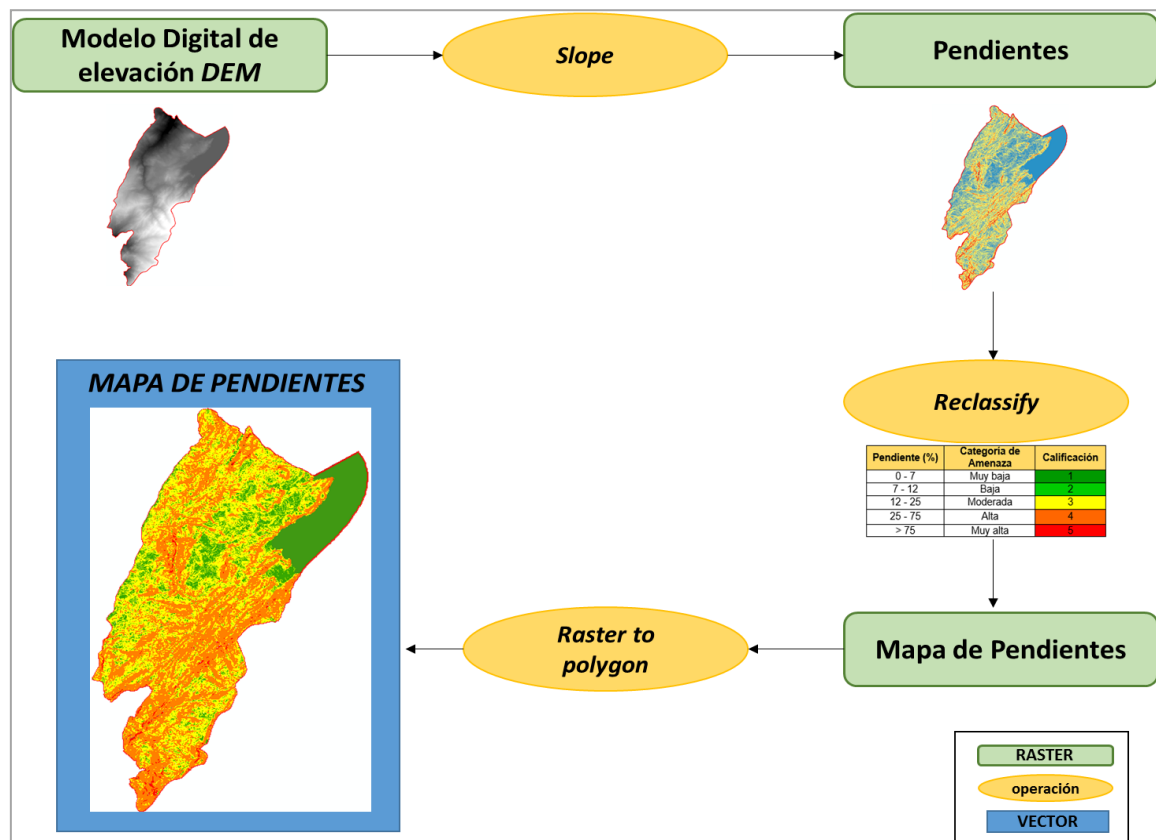
Tabla 11. Calificación de la pendiente.

Pendiente (%)	Categoría de Amenaza	Calificación
0 - 7	Muy baja	1
7 - 12	Baja	2
12 - 25	Moderada	3
25 - 75	Alta	4
> 75	Muy alta	5

Fuente: IDEAM, 2011.

⁵ La descarga del modelo se realiza en este link <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>

Figura 18. Flujo de modelamiento para obtener mapa de pendientes.



Fuente: Autor.

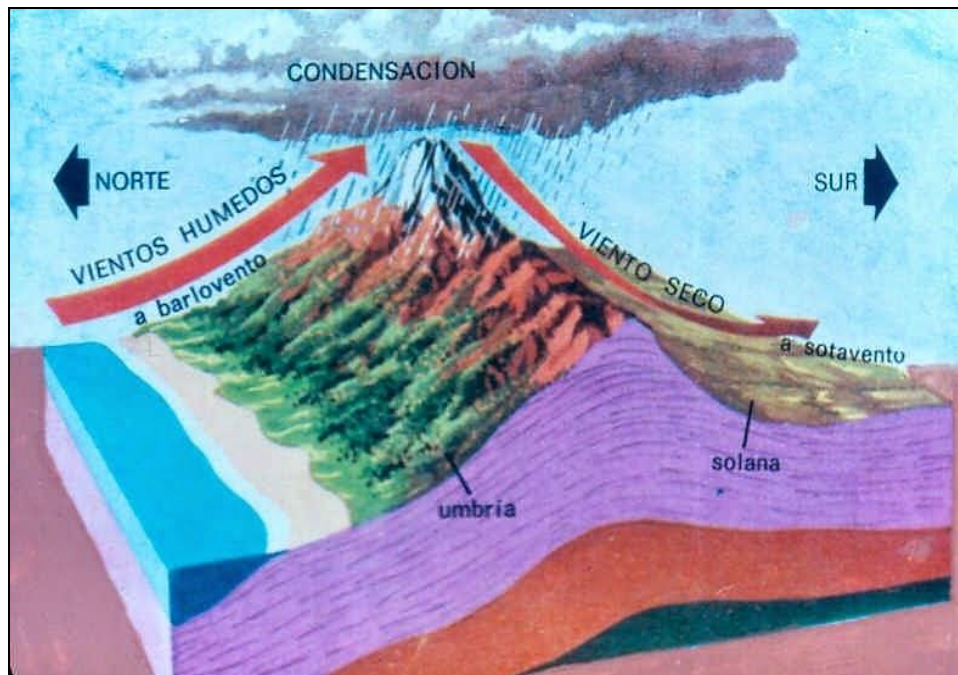
6.2.5 Vientos

El viento se define como una masa de aire que se desplaza desde zonas de presión elevada hasta zonas de baja presión. La variación de la velocidad y dirección de los vientos se deben a varios factores entre ellos el cambio de altura, presión y variación de la topografía del terreno.

El efecto Foehn (*Viento pendiente, Föhn que del Aleman significa Favorable*) es un fenómeno meteorológico que se presenta en grandes cordilleras, un viento caliente y húmedo viajando de partes bajas hacia cordilleras altas y frías sufre una transformación, disminuyendo la cantidad de humedad y convirtiéndose en un viento seco. (Armenta P. 2013).

Este proceso se da en dos etapas, la primera en vientos de barlovento que es de donde se generan los vientos antes de llegar a la cordillera y la segunda en vientos a sotavento que a donde se dirigen los vientos (*Figura 19*).

Figura 19. Efecto Foehn



Fuente: Blog [elmedioambientedecarmen/efecto Foehn](http://elmedioambientedecarmen/efecto-Foehn)

El principal efecto del viento sobre un territorio es el desplazamiento de humedad, (Por ende la desecación del ambiente y el aumento de temperatura), propiciando la generación de un incendio y a la vez facilitando la propagación del mismo. A modo general los vientos pueden retardar o ampliar un incendio según sus características.

Los vientos en Colombia son medidos con anemógrafos de rollo (Tipo Fuess) que registran la velocidad y dirección de los vientos, estos datos son escasos ya que son muy pocas las estaciones meteorológicas que suministren buena calidad en esta información, debido a la falta de personal necesario para realizar oportunamente los cambios de rollo, teniendo en cuenta que también la interpretación de estos es una tarea ardua y compleja.

Para la solución de este problema el IDEAM ha adquirido unos anemógrafos automáticos (Tipo Woelfle) que registran los datos de forma remota, sin embargo, la información que recopilan está restringida al público, debido a que esta tecnología está en fase de instalación los datos no se han avalado por completo.

Como no existe claridad en el manejo de estos datos, a continuación se presenta una propuesta para el modelamiento de los vientos y el papel que desempeñan en la zonificación.

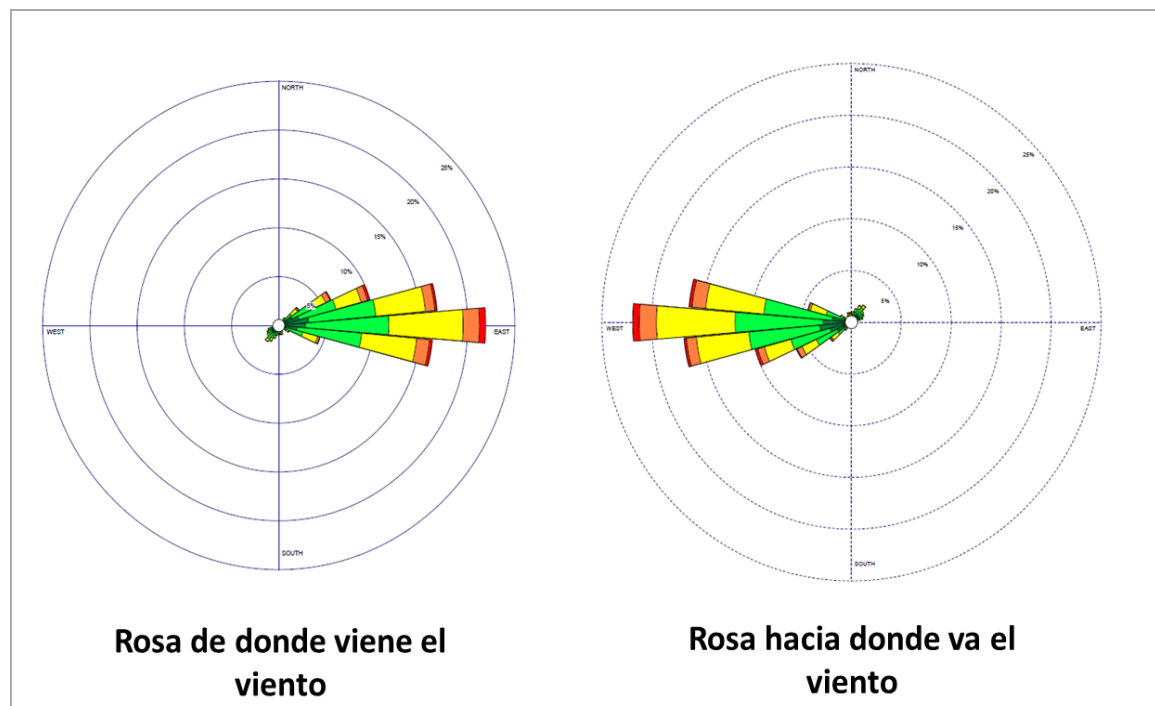
Los datos de vientos que se propone emplear son los que corresponden al periodo diurno, por lo que se descartan aquellos que son tomados de noche, ya que en el día los vientos son más intensos debido a la interacción con la temperatura, radiación solar y brillo solar.

Para el manejo de datos de dirección y de velocidad (*Figura 23*) se utiliza el software libre estadístico de rosa de vientos llamado *WindRose Plot* creado por Lakes Enviromental TM⁶.

-En el software se debe ingresar los datos en una tabla en el siguiente orden: Año, Mes, Día, Hora, Dirección, Velocidad; en formato Excel 97-2003.

- Al ingresarlos, genera la rosa de vientos de los datos de donde proviene el viento, por lo tanto es necesario ajustar los datos hacia donde van (*Figura 20*).

Figura 20. Ejemplo de ajuste de datos Rosa del Viento estación Automática Aquitania.



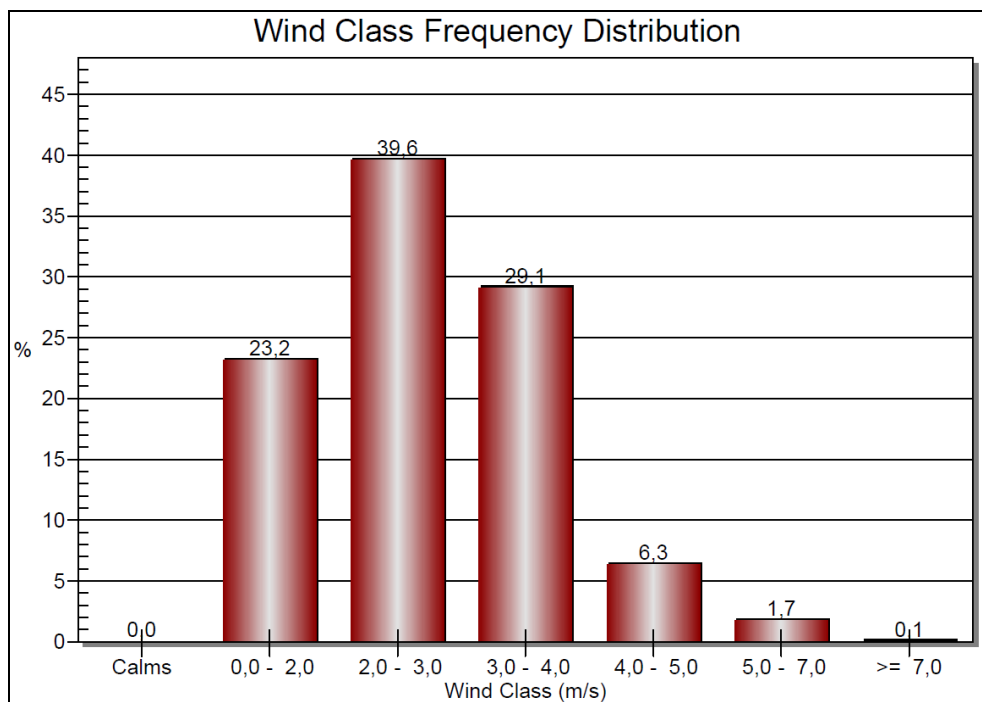
Fuente: Autor.

En la rosa de los vientos se ve una dirección preferencial hacia el Oeste (23%) con velocidades hasta 7 m/s, se observan algunos vientos en dirección Noreste con bajo porcentaje (3%).

⁶ WRPlot puede ser descargado de la página principal WebLakes <http://www.weblakes.com/products/wrplot/?AspxAutoDetectCookieSupport=1>.

- El software también brinda información de frecuencia de velocidades y direcciones en gráficos (*Figura 21*) y numéricamente (*Figura 22*).

Figura 21. Frecuencia de velocidades estación Aquitania Automática



Fuente: Autor

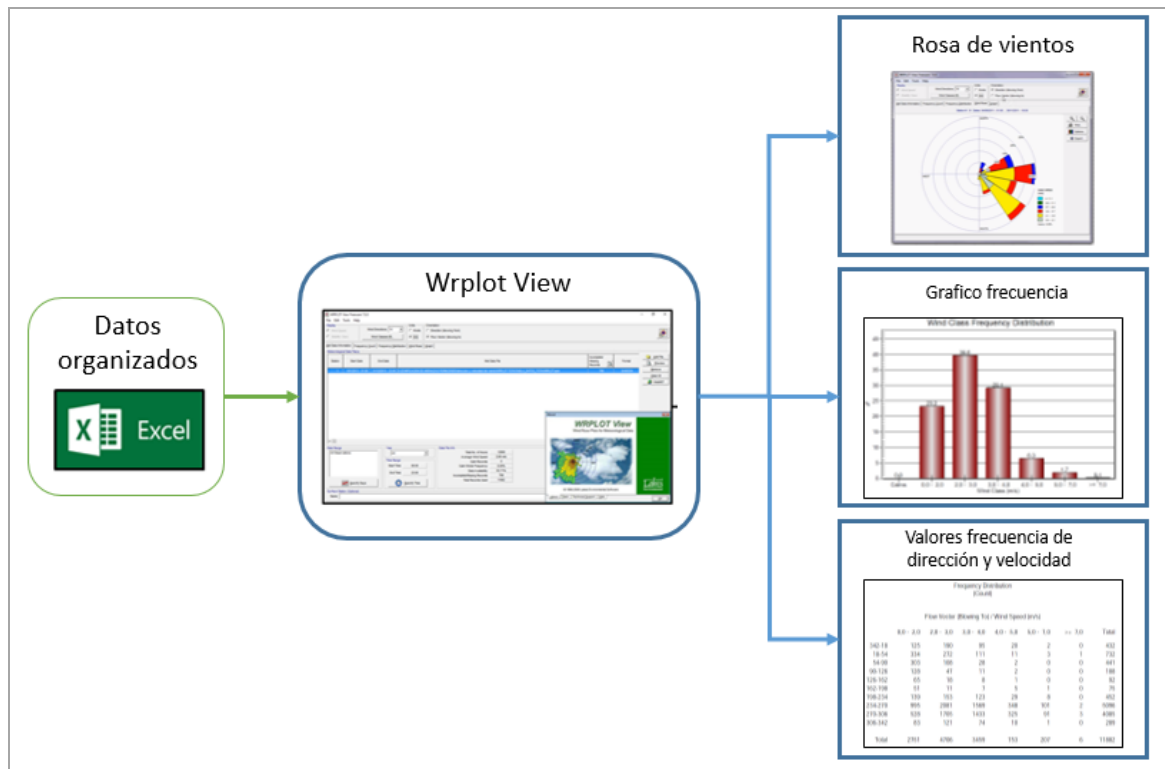
Según el grafico de frecuencia de velocidades se observa que el 40% de los vientos registrados por la estación llevaban una velocidad de 2 a 3 m/s.

Figura 22. Frecuencia de direcciones estación Aquitania Automática

Frequency Distribution (Count)							
Flow Vector (Blowing To) / Wind Speed (m/s)							
	0,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	5,0 - 7,0	>= 7,0	Total
342-18	125	190	95	20	2	0	432
18-54	334	272	111	11	3	1	732
54-90	303	108	28	2	0	0	441
90-126	128	47	11	2	0	0	188
126-162	65	18	8	1	0	0	92
162-198	51	11	7	5	1	0	75
198-234	139	153	123	29	8	0	452
234-270	995	2081	1569	348	101	2	5096
270-306	528	1705	1433	325	91	3	4085
306-342	83	121	74	10	1	0	289
Total	2751	4706	3459	753	207	6	11882

Fuente: Autor

Figura 23. Proceso de manejo de datos de vientos WRPLOT.



Fuente: Autor.

- Con base a la tabla de frecuencias de direcciones se generan unos rangos en grados de y hacia donde se dirigen los vientos calificando con 5 los de mayor frecuencia y con 1 los de menor (*Tabla 12*), teniendo en cuenta que los incendios son más intensos cuando se propagan pendiente arriba o a favor del viento, debido a que el calentamiento por convección es más eficaz (bombersgranollers, 2011).

- Para la generación de este mapa, se usó el modelo digital de elevación DEM de JAXA, y se corre la herramienta *Aspect* de ArcGIS hallando la dirección de la pendiente y posteriormente se reclasifico en 5 categorías con *Reclassify* de Arcgis (*Figura 24*).

- Luego se realiza la conversión a vector con la herramienta *Raster to Polygon*.

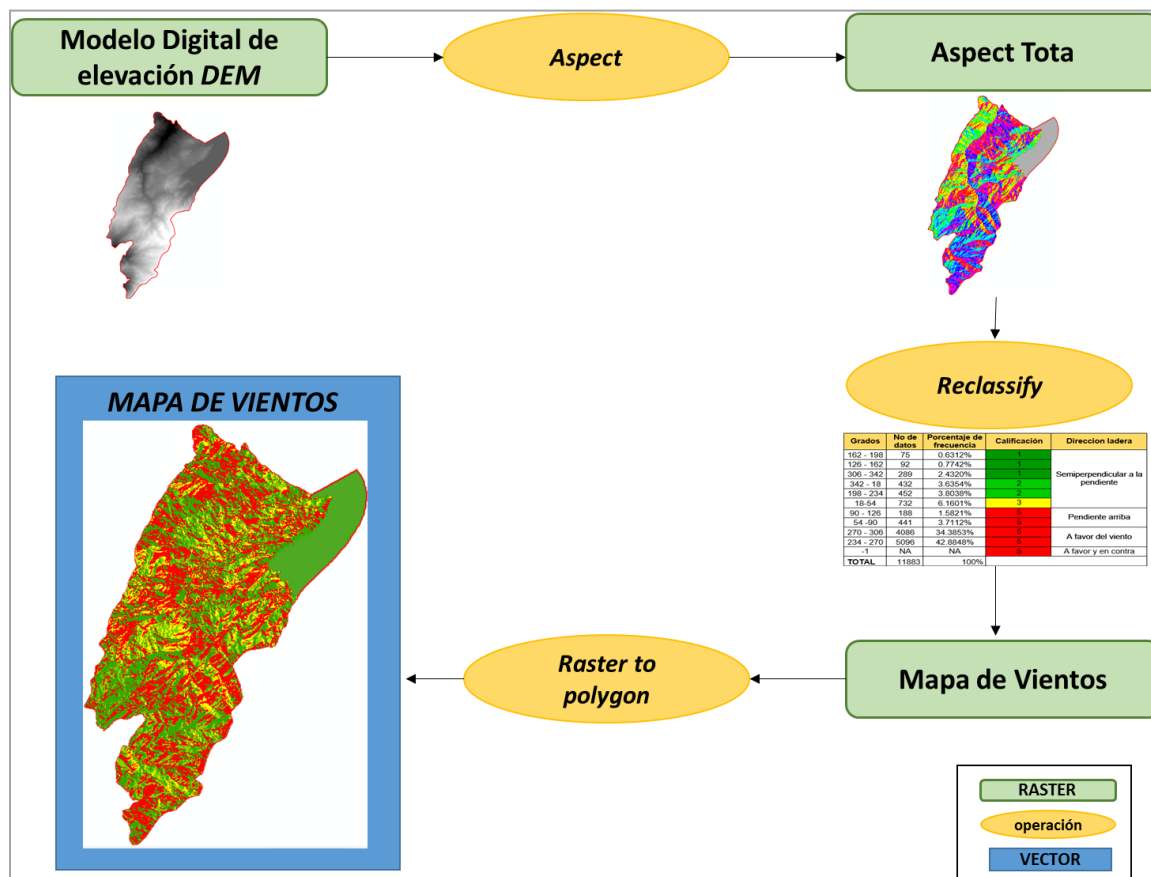
La calificaciones y rangos *dependen estrictamente de la **dirección preferencial** de los vientos*, es decir *de los resultados de la rosa de los vientos para el **área de estudio***.

Tabla 12. Rangos de calificación asignados con datos de vientos para el municipio de Tota.

Grados	No de datos	Porcentaje de frecuencia	Calificación	Dirección ladera
162 - 198	75	0.6312%	1	Semiperpendicular a la pendiente
126 - 162	92	0.7742%	1	
306 - 342	289	2.4320%	1	
342 - 18	432	3.6354%	2	
198 - 234	452	3.8038%	2	
18-54	732	6.1601%	3	Pendiente arriba
90 - 126	188	1.5821%	5	
54 -90	441	3.7112%	5	
270 - 306	4086	34.3853%	5	A favor del viento
234 - 270	5096	42.8848%	5	A favor y en contra
-1	NA	NA	5	
TOTAL	11883	100%		

Fuente: Autor.

Figura 24. Modelamiento para obtener mapa de vientos Tota.



Fuente: Autor.

6.2.6 Solana - Umbría

Iniciando con los detonantes de exposición, se encuentran la Solana y Umbría, también conocidas como zonas de exposición directa e indirecta al sol.

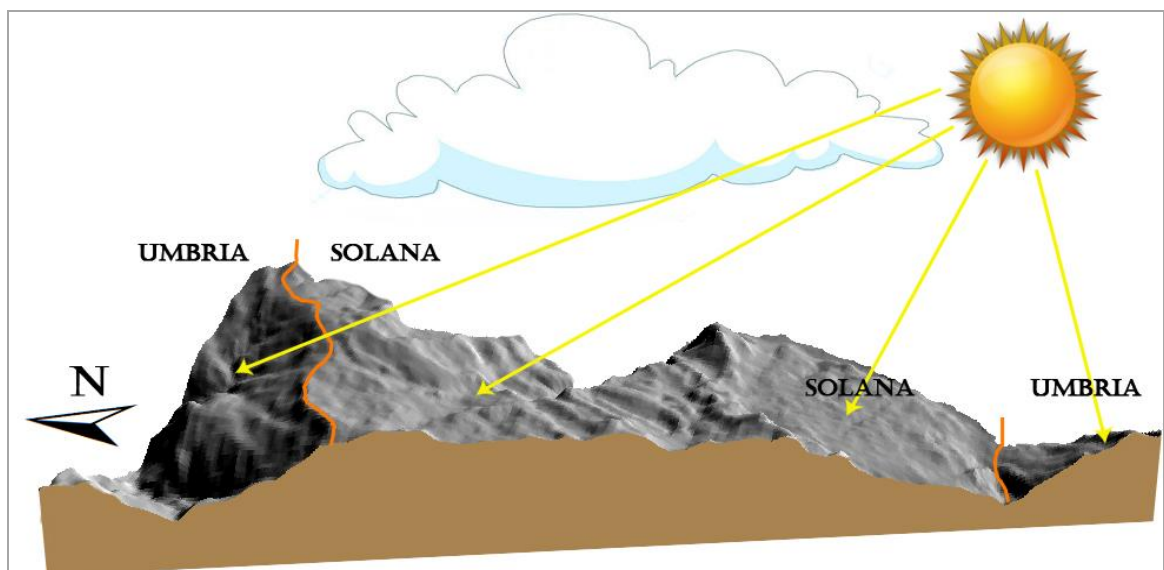
En zonas de cordillera por lo general, existen variaciones e irregularidades del terreno en cuanto a pendientes, rugosidades, direcciones del terreno, longitud de las laderas entre otros; por lo cual la exposición directa del sol en una zona u otra es muy versátil, involucrándose factores secundarios como el ángulo que forma el terreno hacia el sol, la sombra de la vegetación y de las montañas, las nubes, lluvia y vientos.

Para referirse a la exposición del sol sobre un terreno se definen dos términos: la solana y la umbría (*Figura 25*), estas zonas están controladas principalmente por la posición, es decir si se encuentra en el hemisferio norte o sur.

Solana: Son laderas orientadas al sur en zonas montañosas con inclinación donde los rayos llegan más perpendiculares, la insolación o radiación recibida es directa generando mayor calentamiento y por ende evaporación. En estas zonas son más probables a presentar incendios.

Umbría: Son laderas orientadas al norte en zonas montañosas con inclinación donde los rayos del sol que llegan son oblicuos llegando menos radiación, es decir zonas de sombras orográficas, allí tarda más el suelo en secarse y la vegetación es más sana. En estas zonas son menos más probables los incendios.

Figura 25. Ubicación de la solana y umbría.



Fuente: Autor

Figura 26. Solana y umbría vista en Google Earth cerca al lago de Tota.



Fuente: Google Earth.

En la *Figura 26* es posible observar el comportamiento del terreno, con base en la solana y umbría, donde la ladera orientada al sur (solana) posee una vegetación seca e insalubre con un suelo poco húmedo, a diferencia de la orientada al norte (umbría), la cual posee un reverdecimiento y se observa más sana con un suelo más húmedo.

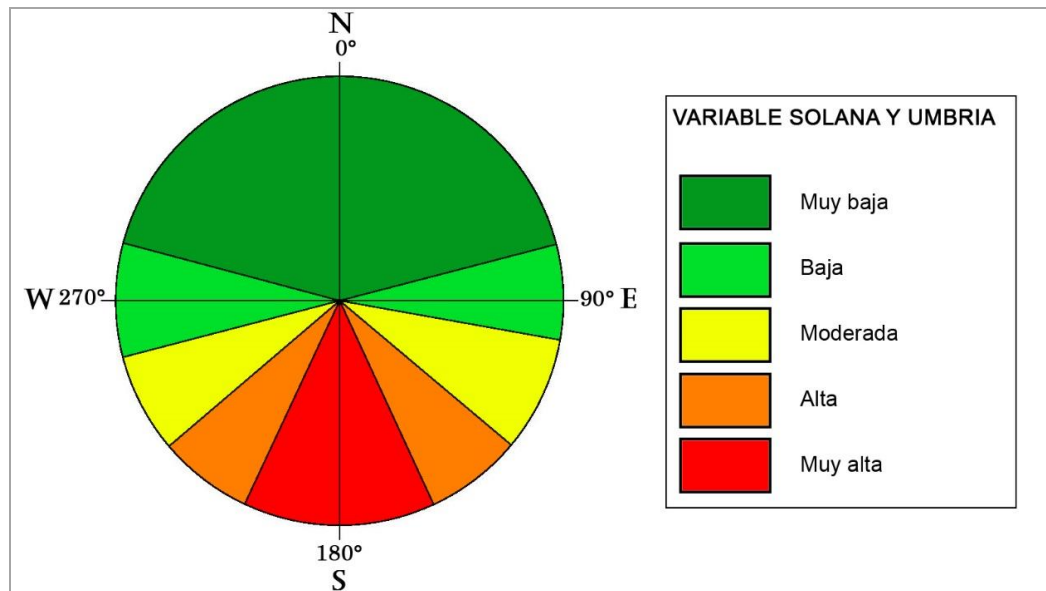
El mapa de solana y umbría como detonante de exposición, se realiza con base en el Modelo digital de elevación de JAXA (DEM) y con la herramienta de Arcgis *Aspect* (*Figura 28*), la cual genera la dirección de la pendiente a partir del norte dando valores de 0 a 360 grados en zonas con pendiente y -1 en zonas planas (*Figura 27*). Este componente se califica según la *tabla 13*, luego se realiza la conversión a vector.

Tabla 13. Calificaciones de dirección de pendiente para solana y umbría.

Terreno en Hemisferio Norte	Dirección de la pendiente Grados	Calificación
Solana	155-205	5
	205-230	4
	130-155	4
	105-130	3
	230-255	3
Solana-Umbría	80-105	2
	255-280	2
Umbría	280-360	1
	0-80	1
Sin pendiente	-1	1

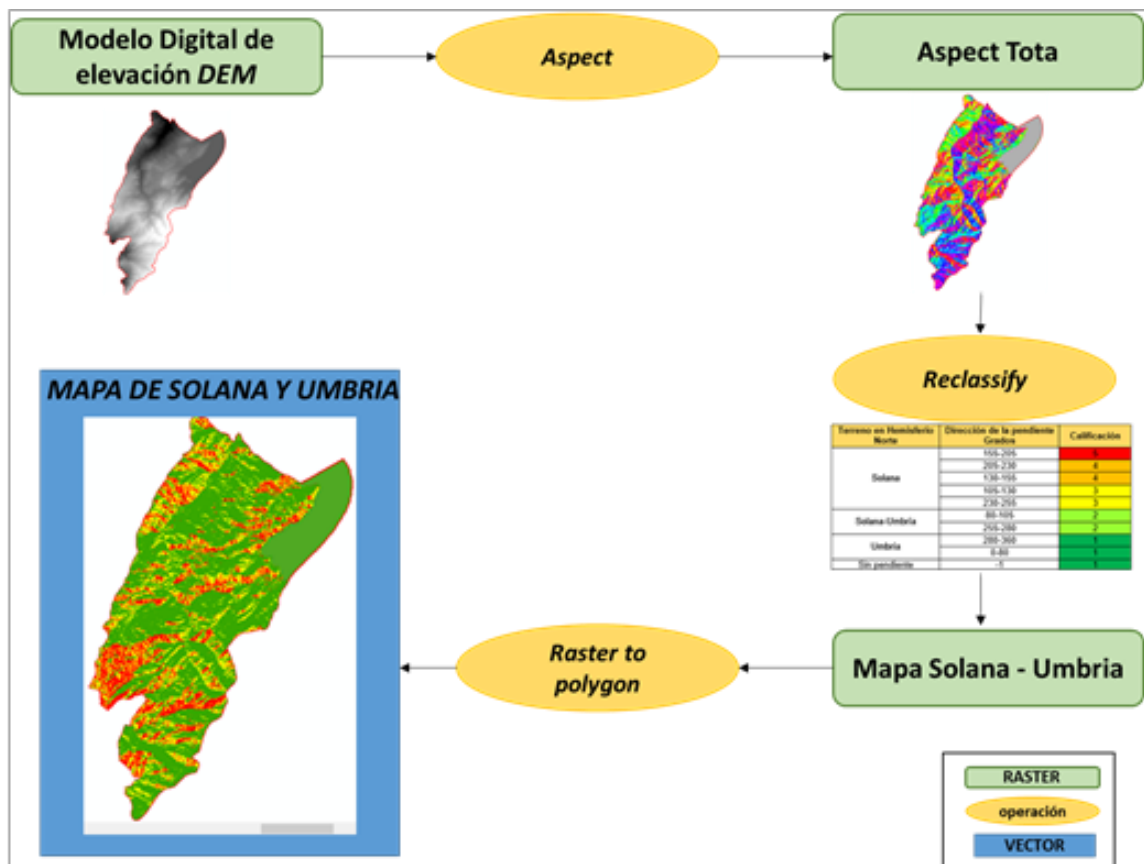
Fuente: Autor.

Figura 27. Gráticula de distribución de dirección de la pendiente según calificación.



Fuente: Autor.

Figura 28. Modelamiento para obtener mapa de Solana y Umbría.



Fuente: Autor.

6.2.7 Temperatura

La cualidad de la atmósfera que indica la cantidad de energía solar retenida por el aire en un momento dado se denomina Temperatura⁷ También se define como el grado de calor o frío que hay en un lugar, esta depende de la altura a mayor altura mayor frío y de la ubicación según las zonas paralelas.

Esta es medida por un instrumento llamado termómetro, en Colombia se encarga de medirla el IDEAM con varias estaciones a lo largo del país, pero en el área de estudio, la cobertura, uniformidad y cantidad de estas es muy pobre por lo que se propone usar información climatológica suministrada por sensores remotos.

Los datos se obtienen del NASA Earth Observations (NEO), descargados en formato raster con una resolución espacial de 0,1 grados, y muestran la temperatura diurna mensual promedio de la superficie de la tierra entre los años 2001 al 2015, tomadas por el instrumento espectroradiómetro de mediciones infrarrojas térmicas de resolución moderada (MODIS), a bordo del satélite Terra de la NASA⁸.

El manejo de estos datos es similar a la de precipitación, lo único que cambia es la fórmula de temperatura media anual de la siguiente manera:

$$\text{TEMPERATURA MEDIA ANUAL} = \frac{\sum (Ene\ 1 + Ene\ 2 + \dots + Ene\ n) + (Feb\ 1 + Feb\ 2 + \dots + Feb\ n) + \dots + (Dic\ 1 + Dic\ 2 + \dots + Dic\ n)}{N * \#}$$

Donde n es el número del año, N es el número total de años que tienen dato y # es el número de meses es decir 12.

Después de obtener el mapa resultante de hallar la temperatura media anual, se realizó un ajuste de temperatura según el gradiente Altitudinal.

6.2.7.1 Ajuste temperatura según el gradiente altitudinal

La temperatura está estrechamente relacionada con la altura, ya que a mayor altura disminuye la temperatura, entonces, si se tiene en cuenta la variación entre el valor máximo y mínimo de temperatura, y la media altitudinal de toda la superficie del municipio, se podrá hallar el gradiente de variación temperatura – altura.

⁷ [Historiaybiografias.com/Geografia y medio ambiente/Clima](http://historiaybiografias.com/Geografia-y-medio-ambiente/Clima).

⁸ Para descargar las imágenes de temperatura se ingresa al siguiente link http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MOD11C1_M_LSTDA

Con base en la siguiente formula, tomada del estudio *Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador* donde se realiza el ajuste altitudinal a la humedad teniendo en cuenta una estación, la humedad determinada (RH_{Det}) es igual a la humedad en la estación (RH_{month}) más la variación según la altura, teniendo tres términos Altura determinada o promedio (Z_{Det}), Altura de la estación ($Z_{station}$) y el gradiente de variación HvsZ (r) (Fries et al. 2012).

$$RH_{Det} = RH_{month} + (\Gamma \cdot (Z_{Det} - Z_{station}))$$

Ajustándolo a temperatura, Tcor, Temperatura corregida; Txy, Temperatura en un punto xy; r, gradiente de variación temperatura – altura; Zm, Altura media; Zxy, Altura en un punto xy.

$$T_{cor} = (T_{xy} + (r * (Z_m - Z_{xy})))$$

$$r = \frac{\Delta T}{\Delta Z} = \frac{T_{max} - T_{min}}{Z_{max} - Z_{min}}$$

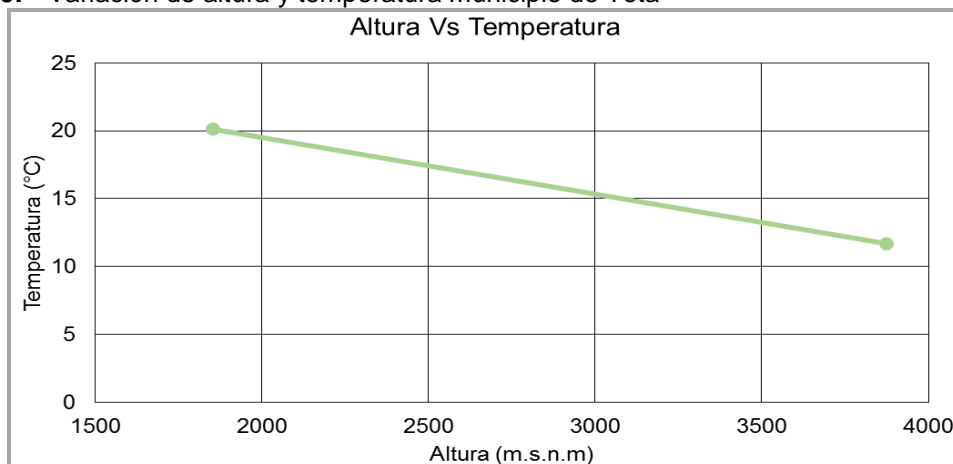
Entonces, en la superficie del municipio de Tota se tienen los siguientes valores máximos y mínimos (*tabla 14*), en donde la variación de estos datos se aprecia en la *figura 29*.

Tabla 14. Valores máximos y mínimos de Temperatura y altura

	Temperatura (°C)	Altura (m.s.n.m)
Mínimo	11.6748	1853
Máximo	20.1148	3875

Fuente: Autor.

Figura 29. Variación de altura y temperatura municipio de Tota

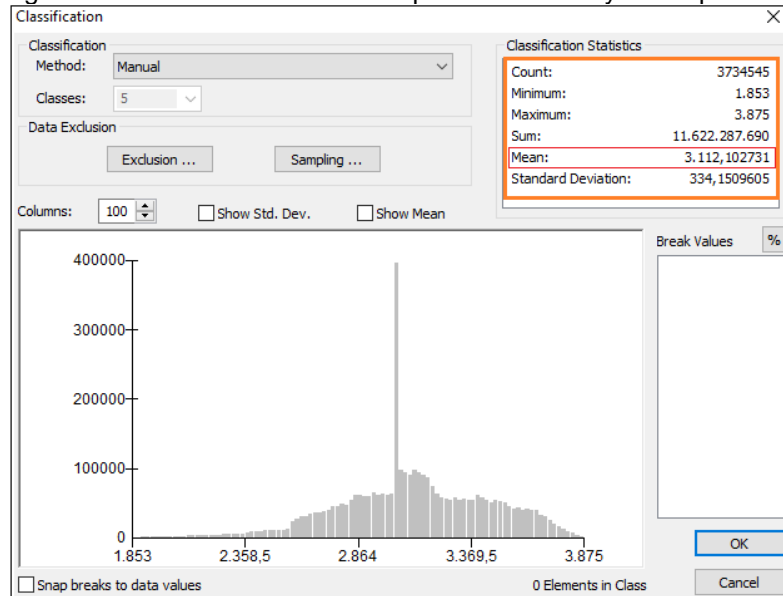


Fuente: Autor.

$$r = \frac{\Delta T}{\Delta Z} = \frac{20.11 - 11.67}{3875 - 1853} = 0.0041721 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$$

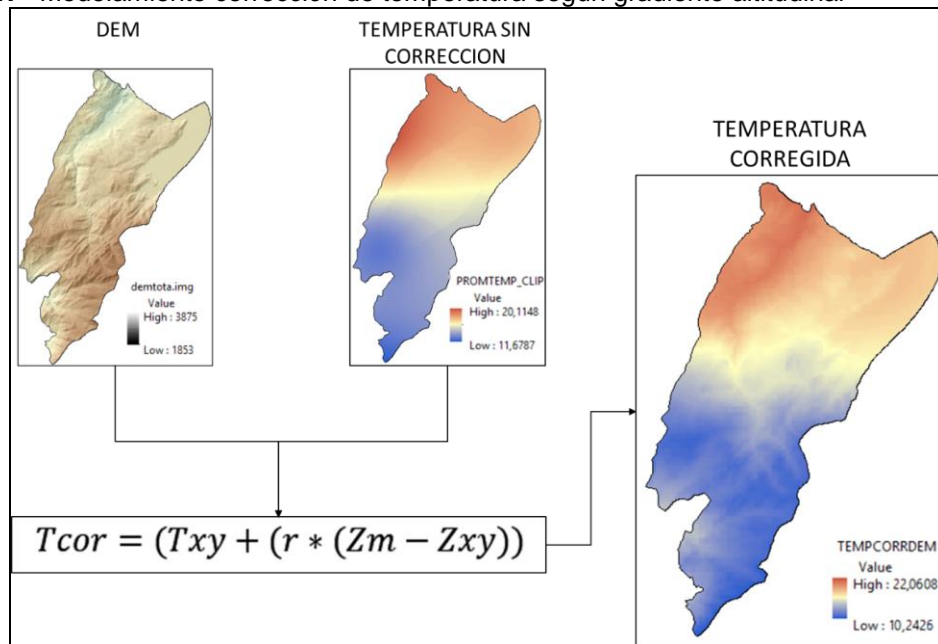
Luego hallamos la altura promedio de la superficie del municipio, se genera las estadísticas del modelo digital de elevación de la NASA (DEM) y se toma el promedio. $Z_m = 3112.1 \text{ m}$ (Figura 31)

Figura 30. Histograma de frecuencia del DEM superficie de Tota y altura promedio (Mean).



Fuente: Autor.

Figura 31. Modelamiento corrección de temperatura según gradiente altitudinal



Fuente: Autor.

Al tener todas las variables de la formula se procede a corregir la temperatura, con la herramienta raster calculator aplicando la formula.

6.2.7.2 Calificación de la componente Temperatura

Definida como agente detonante del fuego, por la cual se desata, se califica según la metodología del IDEAM “Protocolo Para La Realización De Mapas De Zonificación De Riesgos A Incendios De La Cobertura Vegetal Escala 1:100.000” (Tabla 15).

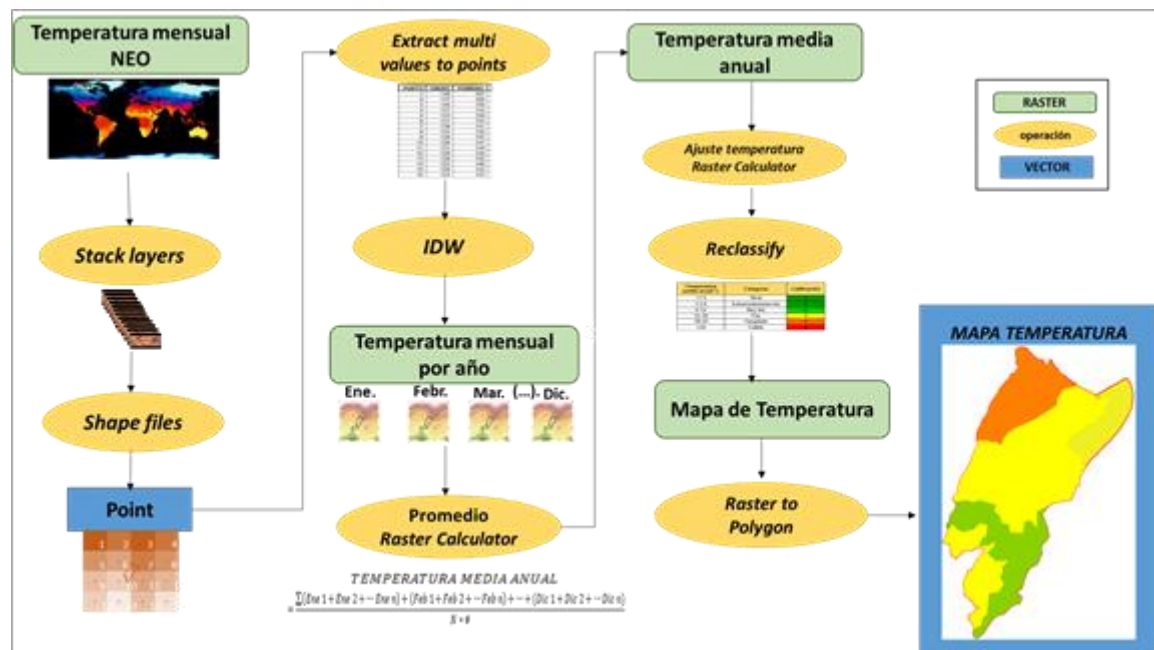
Para observar el procesamiento completo de la componente de incendios ver Figura 32.

Tabla 15. Calificación de la temperatura.

Temperatura media anual °c	Categoría	Calificación
<1.5	Nival	1
1.5-6	Extremadamente frio	1
6-12	Muy frio	2
12-18	Frio	3
18-24	Templado	4
>24	Cálido	5

Fuente: (IDEAM.2011)

Figura 32. Modelamiento del manejo de datos, hasta la obtención del mapa de temperatura.



Fuente: Autor.

6.2.8 Radiación por hora

Para esta última componente, se trabaja con Radiación Neta obtenida en NEO⁹ en conjunto con datos de brillo Solar, de estaciones meteorológicas del IDEAM.

6.2.8.1 Radiación Neta

La radiación Neta es la resultante de la cantidad de energía solar en W/M2 que entra en el sistema de la Tierra y de la cantidad de energía de calor que se escapa hacia el espacio, es la suma total de las longitudes de onda corta y larga de energía electromagnética a longitudes de onda que van desde 0,3 a 100 micrómetros, que permanece para influir en el clima¹⁰.

El sensor que toma la información de Radiación es el sistema de energía radiante (CERES) incorporado en los satélites de Aqua y Terra de la NASA.

En Colombia no existen rangos que midan los niveles de radiación neta, por lo que el autor propone una escala nacional y para ello fue necesario el manejo de imágenes obtenidas de NEO, donde hay disponibilidad de datos mensuales desde 2007 hasta 2015.

- Para realizar el mapa nacional de radiación se descargaron las imágenes en archivo Geo TIFF punto flotante, disponibles en datos mensuales desde 2007 hasta 2015.
- Con la opción *raster calculator* de Arcgis se realizó la siguiente operación:

$$\text{RADIACIÓN MEDIA ANUAL} = \frac{\sum (\text{Ene 2007} + \text{Ene 2008} + \dots + \text{Ene 2015}) + (\text{Feb 2007} + \text{Feb 2008} + \dots + \text{Feb 2015}) + \dots + (\text{Dic 2007} + \text{Dic 2008} + \dots + \text{Dic 2015})}{N * \#}$$

Donde N es el número total de años que tienen dato, en este caso 8 años y # es el número de meses es decir 12.

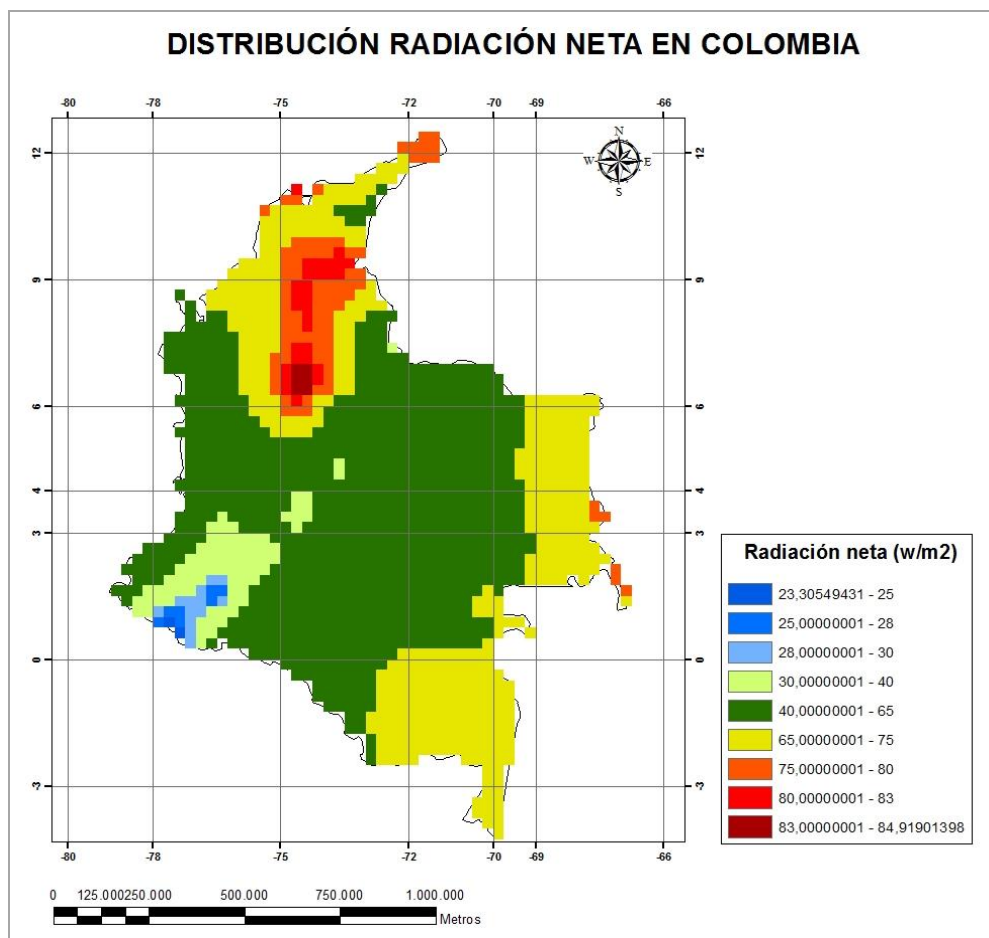
- La imagen resultante se recortó con el polígono de Colombia y se observaron los rangos de Radiación neta obtenidos:

Los rangos de Radiación Neta para Colombia (*Figura 33*), se realizaron a partir de una comparación con la radiación Global del Atlas de Radiación de Colombia, realizado por el IDEAM.

⁹ Para descargar imágenes de radiación neta se ingresa al siguiente Link http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_NETFLUX_M

¹⁰ Instructivo avanzado Radiación Neta http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_NETFLUX_M

Figura 33. Mapa distribución Radiación Neta Colombia, en sistema de coordenadas WGS 1984.



Fuente: El Autor.

De acuerdo con los valores de radiación neta para Colombia se plantea la calificación para la componente (*Tabla 16*).

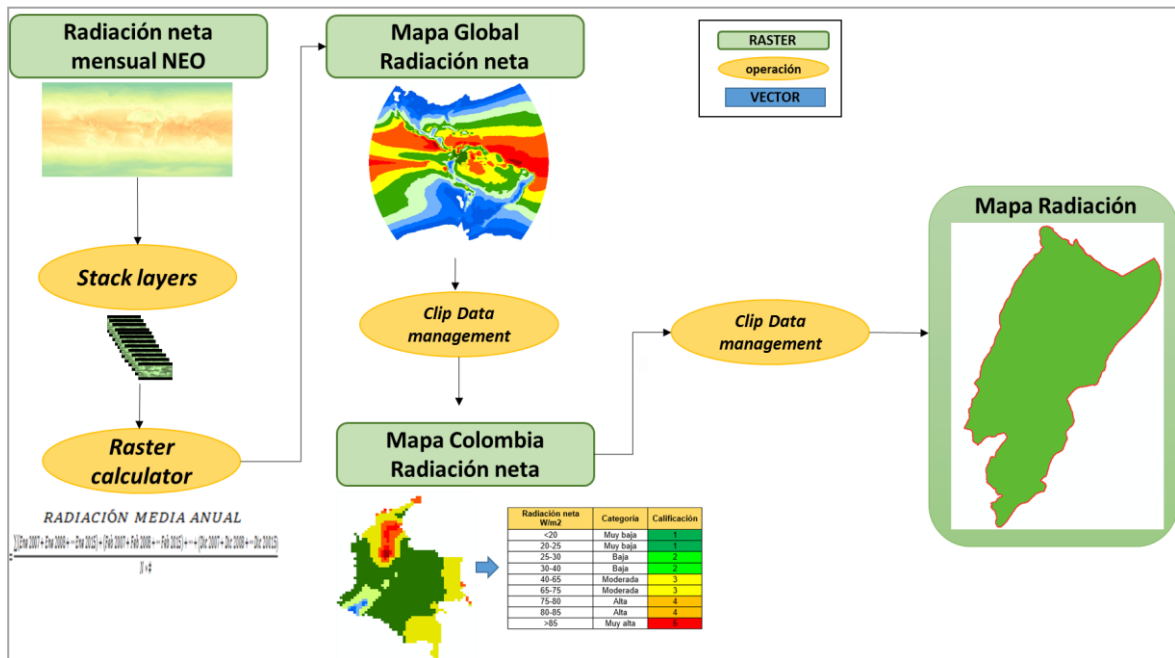
Tabla 16. Calificación de radiación neta

Radiación neta W/m2	Categoría	Calificación
<20	Muy baja	1
20-25	Muy baja	1
25-30	Baja	2
30-40	Baja	2
40-65	Moderada	3
65-75	Moderada	3
75-80	Alta	4
80-85	Alta	4
>85	Muy alta	5

Fuente: El Autor.

- Para aplicar esta calificación a un municipio, este puede localizarse en el mapa nacional de radiación Neta y de ahí determinar los rangos que pueden estar presentes dentro de este o realizar el proceso antes mencionado desde la descarga de las imágenes NEO y realizando el recorte para el área de interés (Figura 34).

Figura 34. Modelamiento de datos para obtener mapa de radiación, en base a rangos asignados para Colombia.



Fuente: El Autor.

6.2.8.2 Brillo Solar

Esta información se obtuvo de datos meteorológicos suministrados por estaciones del IDEAM, que preferencialmente se encuentren en las cercanías al área de trabajo.

Se solicitaron datos mensuales multianuales y correspondientes a horas de sol. Para complementarlos con la radiación se trabajaron así (Figura 35):

- Se tomó el valor máximo de los valores medios de los 12 meses de la información que suministraron las estaciones.
- Se dividió por el número de días del mes que resultó del paso anterior, por ejemplo si el valor máximo de la estación X es Enero, el valor se divide en 31, así se tendrá una idea de cuántas horas de sol hubo por un día del mes de enero.
- Posteriormente se realizó en un documento Excel en formato 97 – 2003, una tabla con nombre de estación, coordenada en X, coordenada en Y (localización

geográfica de estación) y en la última casilla el valor promedio de un día de sol para las estaciones.

- En ArcGis se abre el documento de Excel y se espacializan los puntos de las estaciones.

- Si se tienen pocas estaciones con información de brillo solar se sugiere una interpolación de los datos con KRIGING de Arcgis, de lo contrario si el rango de datos es amplio, la interpolación puede realizarse con IDW del mismo software.

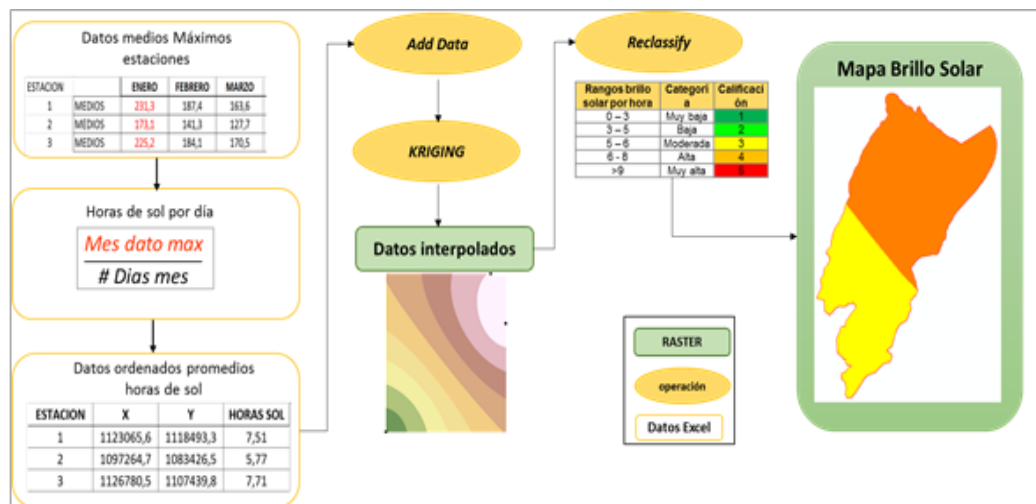
- A la información interpolada se le aplicó una reclasificación considerando los rangos que propone el autor para horas de sol (*tabla 17*).

Tabla 17. Calificación de brillo solar

Rangos brillo solar por hora	Categoría	Calificación
0 – 3	Muy baja	1
3 – 5	Baja	2
5 – 6	Moderada	3
6 - 8	Alta	4
>9	Muy alta	5

Fuente: El Autor.

Figura 35. Modelamiento de datos para obtener mapa de brillo Solar, en base a rangos asignados para Brillo solar.

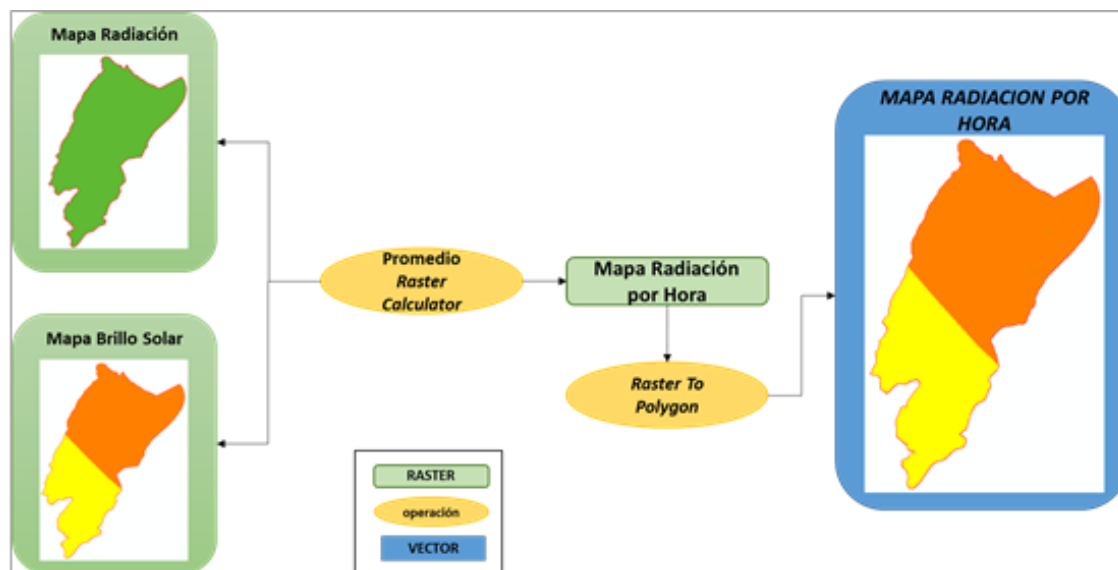


Fuente: El Autor.

6.2.8.3 Mapa Radiación por hora

Para la obtención del mapa final, se realizó un promedio entre el mapa de Radiación y el de brillo solar con la opción *Raster Calculator*, luego se realiza la conversión de raster a vector (*Figura 36*).

Figura 36. Modelamiento para obtener el mapa de Radiación por hora.

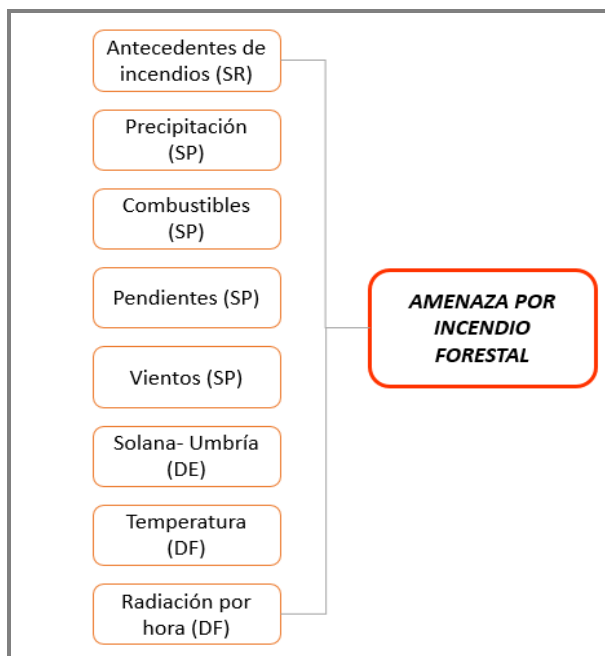


Fuente: El Autor.

6.3 ELABORACIÓN MAPA DE AMENAZAS POR INCENDIOS FORESTALES

A continuación (*Figura 37*) se muestra un esquema simplificado basado en la figura 11, para la elaboración del mapa final de amenaza, aclarando el significado de las siglas: SR= Susceptibilidad de recurrencia, SP= Susceptibilidad de propagación, DE = Detonante por exposición solar y DF = Detonante de fuego.

Figura 37. Esquema simplificado Amenaza por incendios.



Fuente: El Autor.

El mapa final de *Amenazas*, resultado de la superposición de los componentes en formato Vector.

Cuando los componente están en formato raster se realiza la transformación mediante el uso de la herramienta *Raster to Polygon* de ArcGis, así todos quedaran en formato Shape (.shp).

La suma o compilación se realiza con la herramienta *Union*, la cual superpone todos los componentes agregando por cada polígono los 8 atributos según las calificaciones dadas, con *Field Calculator*, de la tabla de atributos por cada polígono se realiza una suma ponderada de las 8 Variables de los componentes según la importancia de cada uno¹¹.

$$SUMA PONDERADA = (A * 25) + (P * 10) + (C * 20) + (Pe * 15) + (V * 5) + (SU * 5) + (T * 10) + (R * 10)$$

Donde:

A = Antecedentes de Incendios; *P* = Precipitación; *C* = Combustibles; *Pe* = Pendientes; *V* = Vientos; *SU* = Solana y Umbría; *T* = Temperatura; *R* = Radiación.

Debido a que existen diferencias entre las escalas sobre las cuales se miden las variables y factores, es necesario estandarizarlos antes de combinarlos y transformarlos para que todos ellos puedan ser correlacionados. Si se tiene en cuenta que todas las componentes que se incorporan al análisis son variables de índole continua y adquieren características de grupos difusos, es decir que presentan vaguedad en la definición de sus límites y rangos, para poder llegar a categorizarlos y clasificarlos adecuadamente, se requiere de una normalización (IDEAM 2011).

$$\text{Normalizacion} = \frac{(\text{Suma Ponderada} - \text{valor minimo})}{\text{Valor maximo} - \text{Valor minimo}} * 5 \text{ Categorías}$$

El Valor mínimo = Mínimo valor del factor de toda el área de estudio.

El Valor máximo = Valor Máximo presentado por en toda el área de estudio.

¹¹ Para el caso de Tota, fueron empleados este tipo de porcentajes ya que para vientos solo se contó con una sola estación metereológica, estos valores pueden ser variados según la disponibilidad y calidad de información de los factores, y según las características climatológicas de una zona determinada.

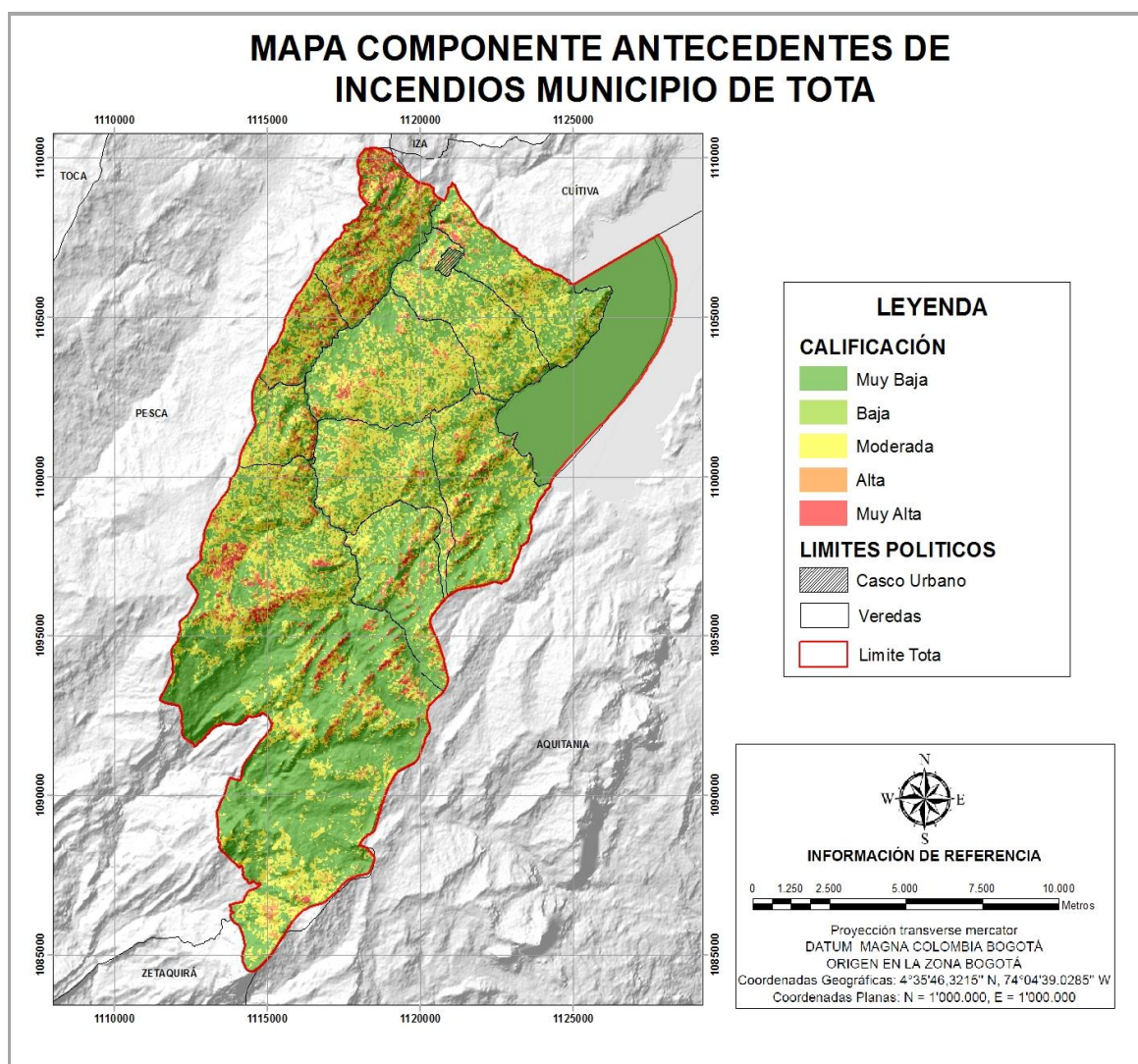
7.RESULTADOS

Con la metodología propuesta, se desarrollaron cada uno de los componentes en el municipio de Tota Boyacá hasta obtener finalmente el mapa de amenazas por incendios Forestales.

7.1 ANTECEDENTES POR INCENDIOS FORESTALES

Aplicando la metodología antes mencionada se obtuvo el siguiente mapa (*Figura 38*):

Figura 38. Mapa Antecedentes de incendios Tota.



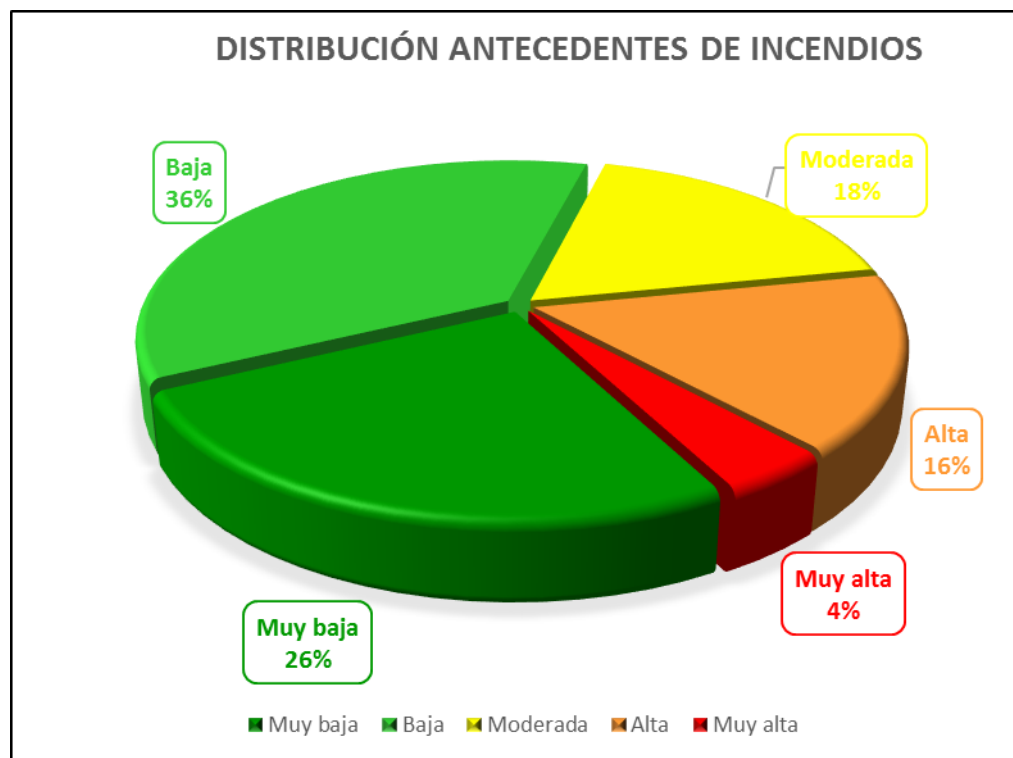
Fuente: Autor.

Tabla 18. Porcentaje de distribución de antecedentes por incendios calificados en Tota.

Categoría	Categoría de Amenaza	Área (m2)	Porcentaje
1	Muy baja	45544183,21	25,6%
2	Baja	64151201,23	36,1%
3	Moderada	31719030,38	17,9%
4	Alta	28955476,23	16,3%
5	Muy alta	7221440,47	4,1%
Total		177591331,5	100%

Fuente: Autor.

Figura 39. Distribución de los Antecedentes de incendios calificados en Tota.



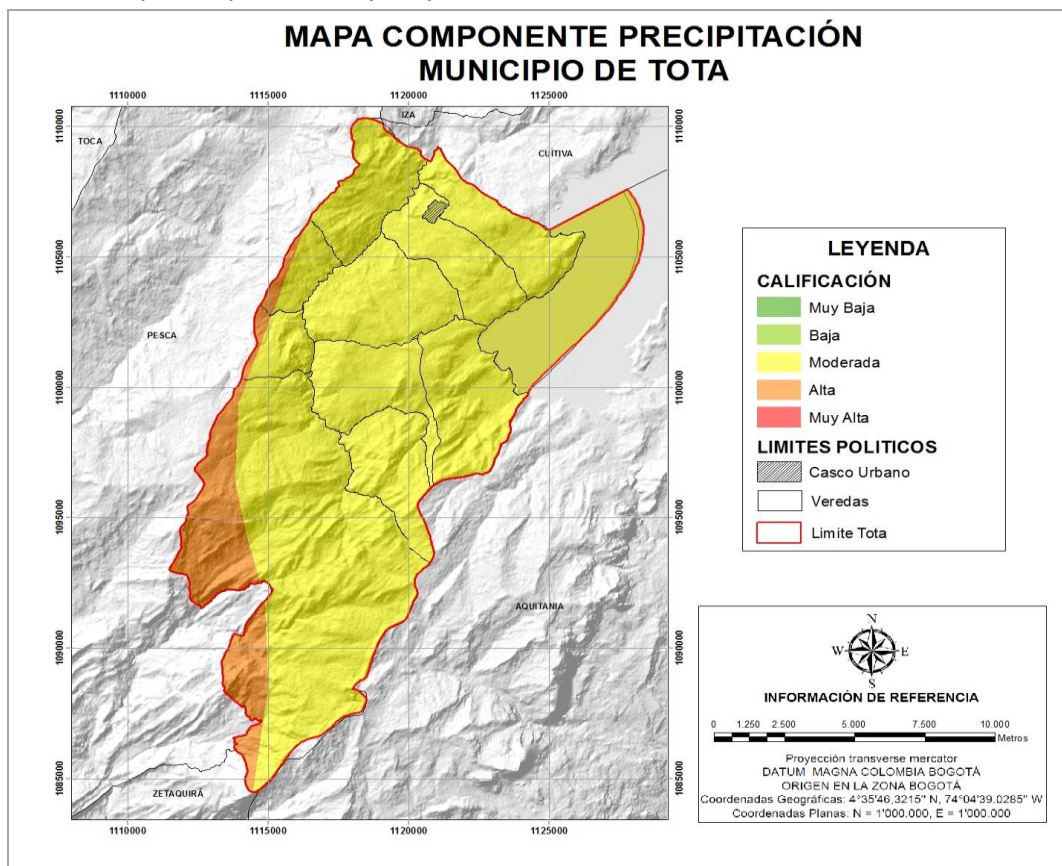
Fuente: Autor.

Como se observa en la *tabla 18* y en la *figura 39*, en la calificación del componente antecedentes predomina la calificación Muy baja (1) cubriendo un 22% del área total del municipio, y en menor proporción calificaciones 4 y 5, con porcentajes de 16% y 4% respectivamente. Estas se presentan con mayor frecuencia en las veredas Romero, Daisy, Sunguvita y en la parte Norte de la vereda Corales.

7.2 PRECIPITACIÓN

Para el municipio de Tota se empleó información de precipitación desde el año 2000 hasta el año 2015, con el procesamiento de imágenes de NEO. El mapa del componente de precipitación resultante en el municipio se observa a continuación:

Figura 40. Mapa componente de precipitación Tota.



Fuente: Autor.

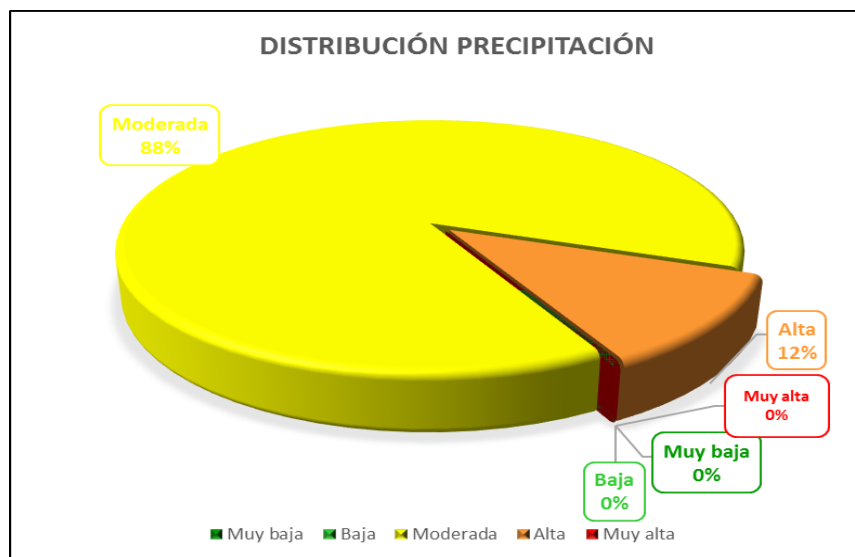
Para representar la distribución y predominancia de las calificaciones de precipitación en el municipio de Tota, se dispone un gráfico que esquematiza y expone una idea cuantitativa del tema:

Tabla 19. Porcentaje de distribución precipitación calificada en Tota.

Categoría	Categoría de Amenaza	Área (m2)	Porcentaje
1	Muy baja	0,00	0,0%
2	Baja	0,00	0,0%
3	Moderada	156699602,43	88,2%
4	Alta	20866430,93	11,8%
5	Muy alta	0,00	0,0%
Total		177566033,4	100%

Fuente: Autor.

Figura 41. Distribución de la precipitación calificada en Tota.

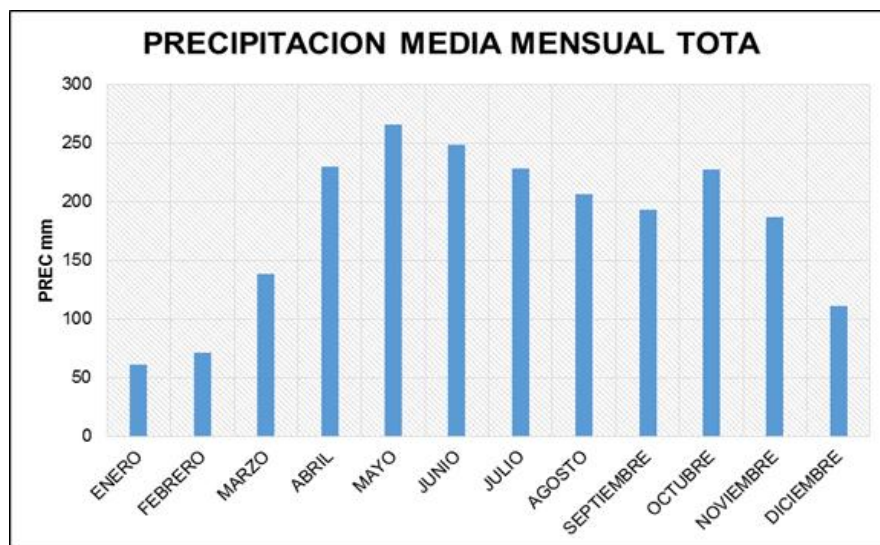


Fuente: Autor.

Como se observa en la *tabla 19*, y en la *Figura 41* en el municipio solo se presenta 2 calificaciones por precipitación: Moderada y Alta, en donde moderada ocupa el 88 % del área total del municipio y alta el 12 % del municipio.

En el siguiente gráfico (*Figura 42*), se puede observar el promedio de precipitación media mensual en el casco urbano de Tota:

Figura 42. Precipitación media mensual del casco Urbano Tota.



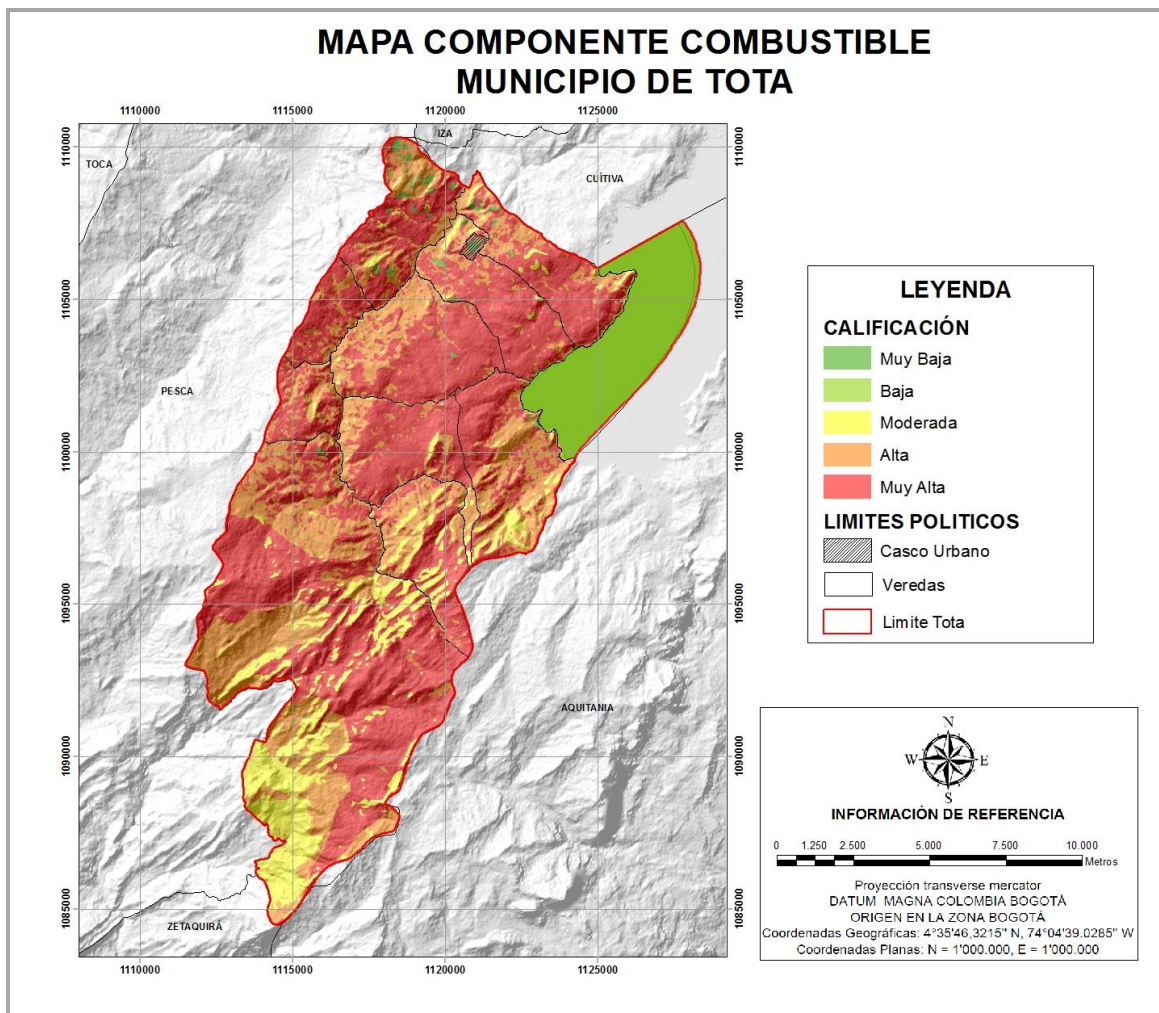
Fuente: Autor

Como se aprecia en la *figura 42* es de notarse un comportamiento predominantemente monomodal en precipitación, y recalcar que la temporada en la que esta es baja, se da en los meses de enero, febrero y marzo.

7.3 COMBUSTIBLES

El mapa de cobertura para Tota (*Figura 43*) se realizó con una imagen satelital Landsat 8 RGB 753, resultando el siguiente mapa:

Figura 43. Mapa componente combustibles municipio de Tota.



Fuente: El Autor.

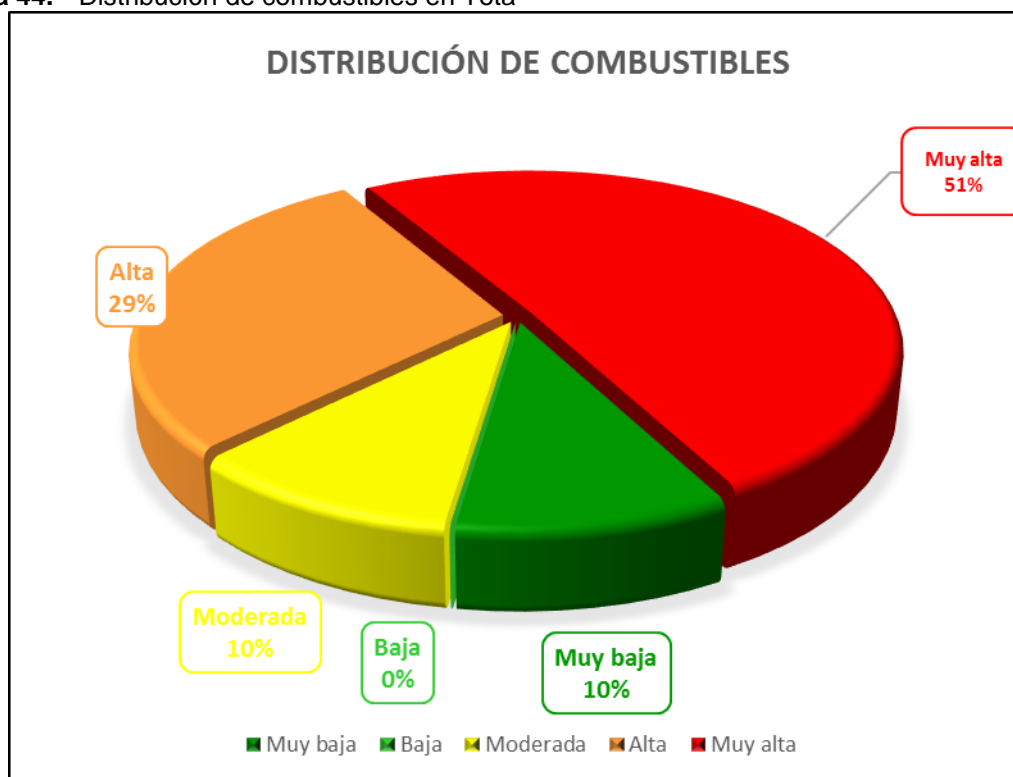
Para representar la distribución y predominancia de las calificaciones de combustibles en el municipio de Tota, se dispone un gráfico (*Figura 44*) y una tabla (*Tabla 20*) que esquematizan y exponen una idea cuantitativa del tema:

Tabla 20. Porcentaje de distribución de combustibles calificado en Tota.

Categoría	Categoría de Amenaza	Área (m2)	Porcentaje
1	Muy baja	19875564,08	10,1%
2	Baja	0,00	0,0%
3	Moderada	20144300,47	10,3%
4	Alta	56679291,73	28,9%
5	Muy alta	99547278,38	50,7%
Total		196246434,6	100%

Fuente: Autor.

Figura 44. Distribución de combustibles en Tota



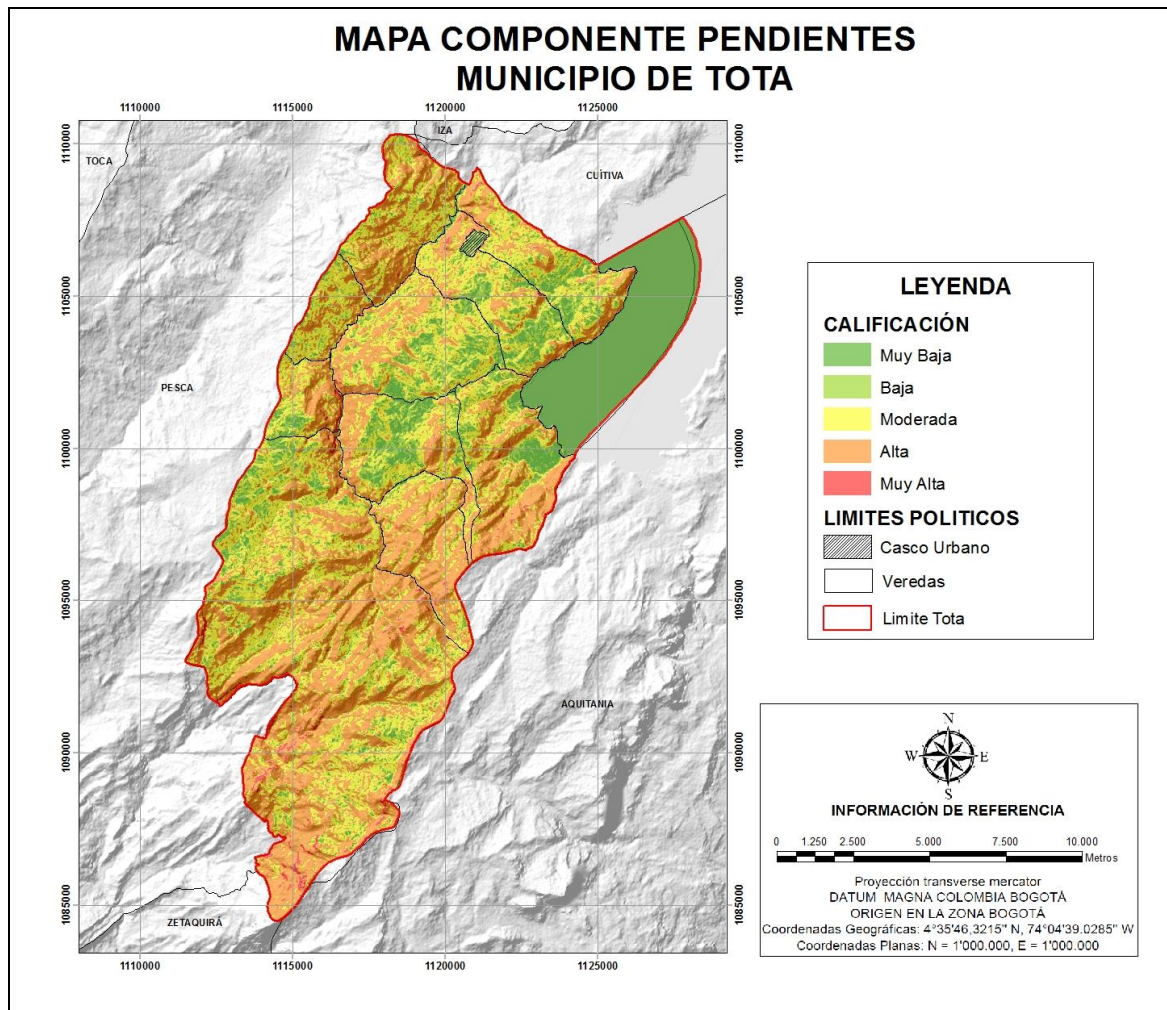
Fuente: El Autor.

Es de notarse que existe un predominio de calificación muy Alta en el municipio de Tota ocupando un 51%, seguido de alta con 29% y en menor proporción moderada y muy baja.

7.4 PENDIENTES

Para el mapa de pendientes, se utilizó el modelo digital de elevación *DEM* de la NASA en alianza con la JAXA de 12.5 m de resolución.

Figura 45. Mapa componente pendientes municipio de Tota.



Fuente: Autor.

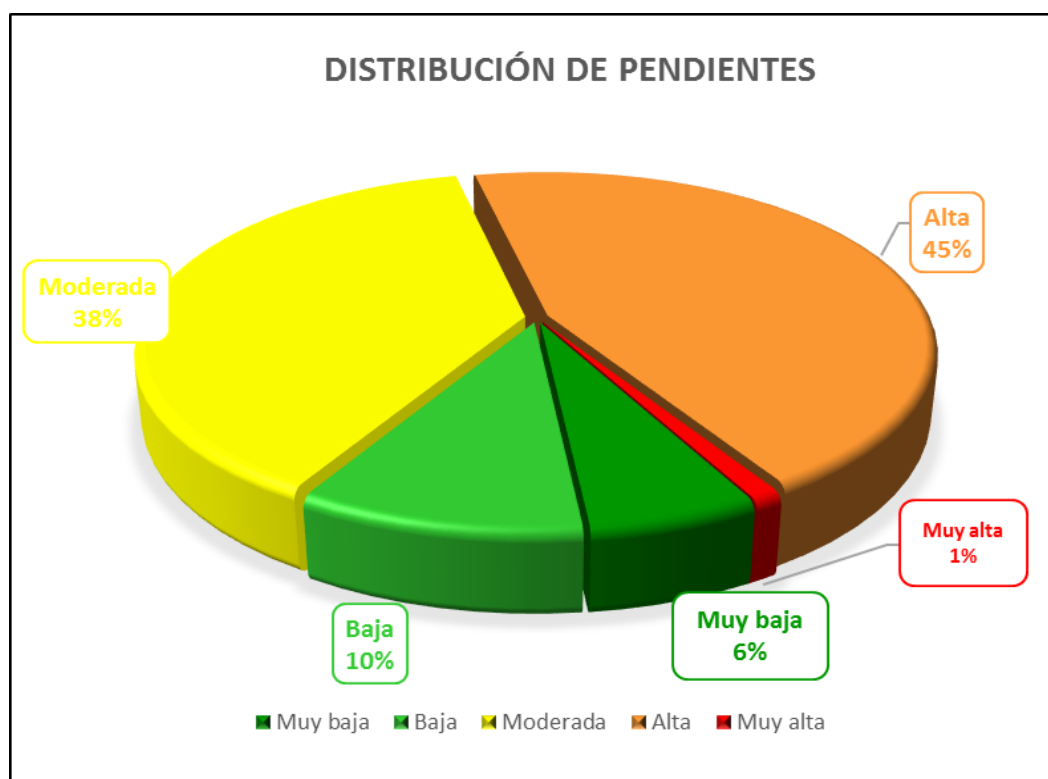
Para representar la distribución y predominancia de las calificaciones de pendientes en el municipio de Tota, se dispone un gráfico (*Figura 46*) y una tabla (*Tabla 21*) que esquematiza y expone una idea cuantitativa del tema:

Tabla 21. Distribución de pendientes calificadas en Tota

Categoría	Categoría de Amenaza	Área (m2)	Porcentaje
1	Muy baja	10770029	5,5%
2	Baja	18089373,77	9,2%
3	Moderada	67494620	34,4%
4	Alta	79387531,32	40,5%
5	Muy alta	1824479,284	0,9%
Total		196246434,6	100%

Fuente: El Autor.

Figura 46. Distribución de pendientes en Tota



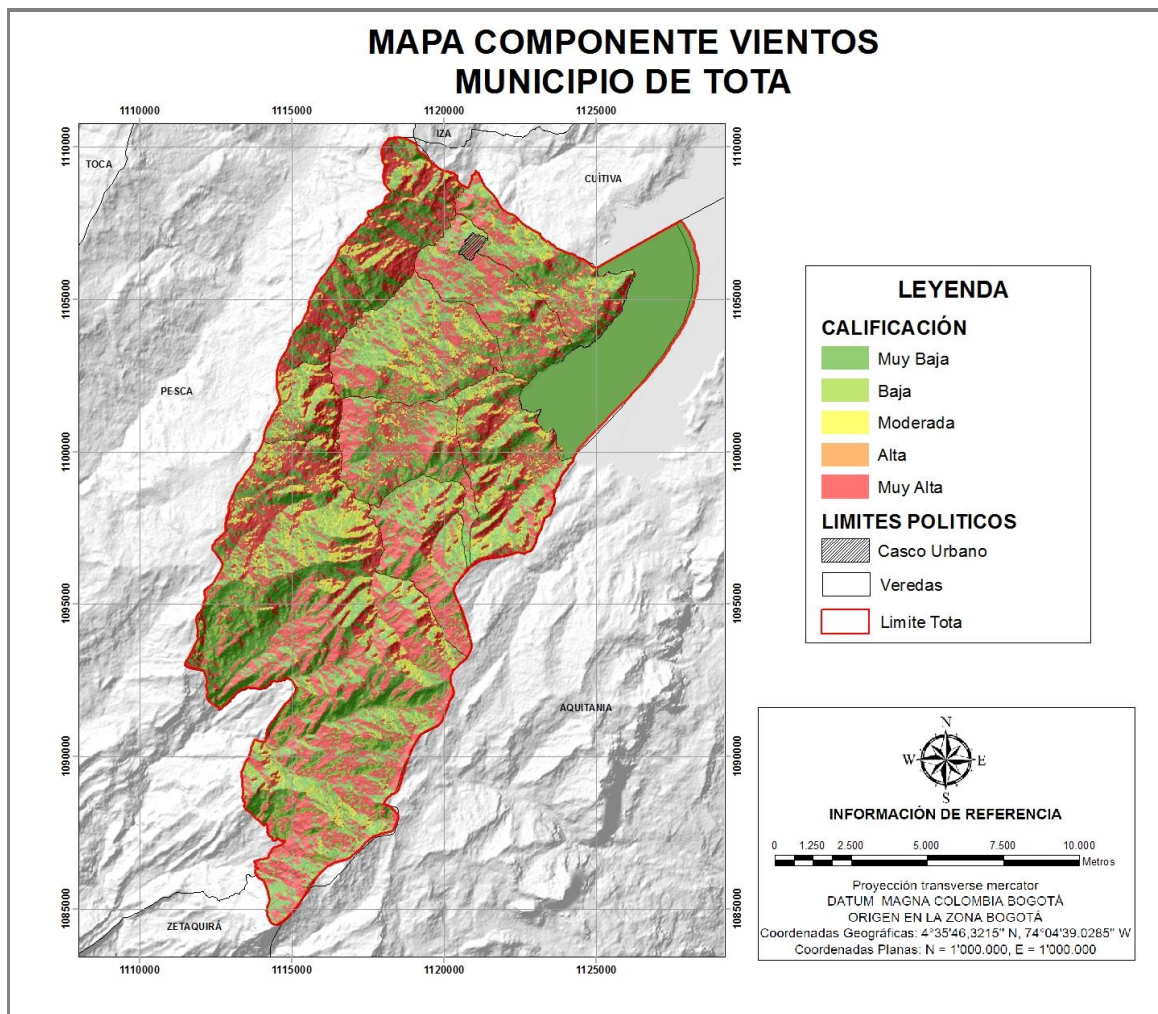
Fuente: El Autor.

Para pendientes el predominio de calificación corresponde a 4 (Alta) que ocupa un 45 % del area total del municipio, tambien presenta gran importancia la calificación moderada con 38 %.

7.5 VIENTOS

Para esta componente se empleó la información de dirección y de velocidad de vientos de la estación Automática Aquitania del IDEAM.

Figura 47. Mapa componente vientos municipio de Tota.



Fuente: Autor.

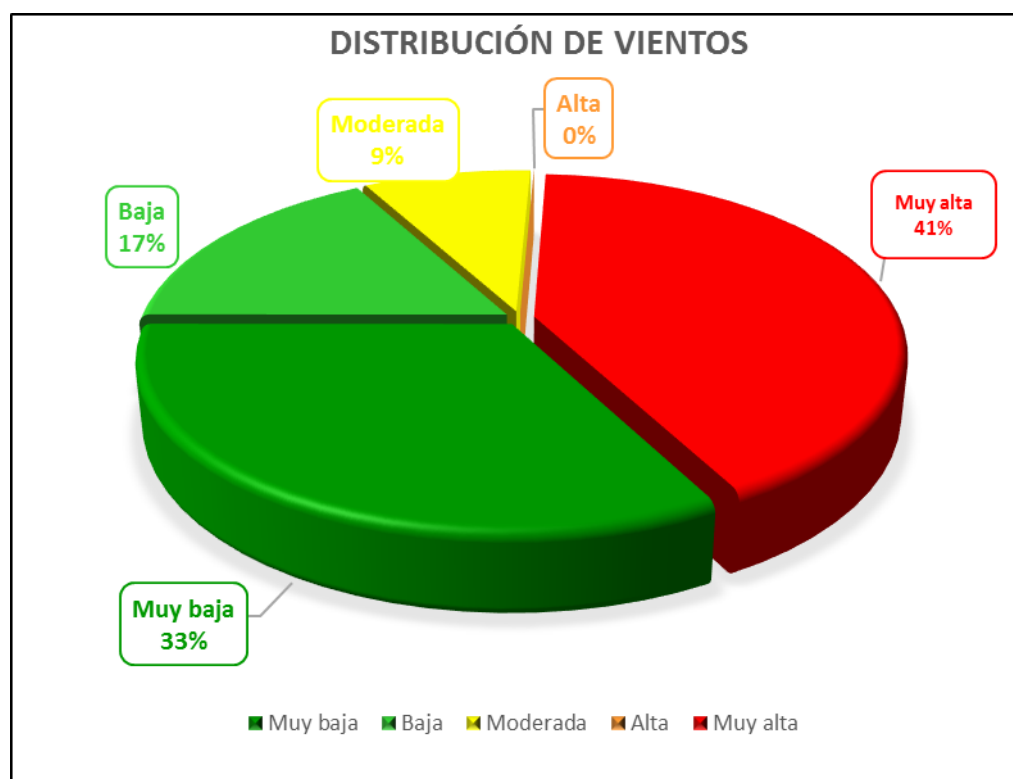
Para representar la distribución y predominancia de las calificaciones de vientos en el municipio de Tota, se dispone un gráfico (*Figura 48*) y una tabla (*Tabla 22*) que esquematiza y expone una idea cuantitativa del tema:

Tabla 22. Distribución de vientos calificados en Tota

Categoría	Categoría de Amenaza	Área (m2)	Porcentaje
1	Muy baja	58242042,4	29,7%
2	Baja	30158087,9	15,4%
3	Moderada	15443566,95	7,9%
4	Alta	0	0,0%
5	Muy alta	73722336,12	37,6%
Total		196246434,6	100%

Fuente: Autor.

Figura 48. Distribución de vientos en Tota.



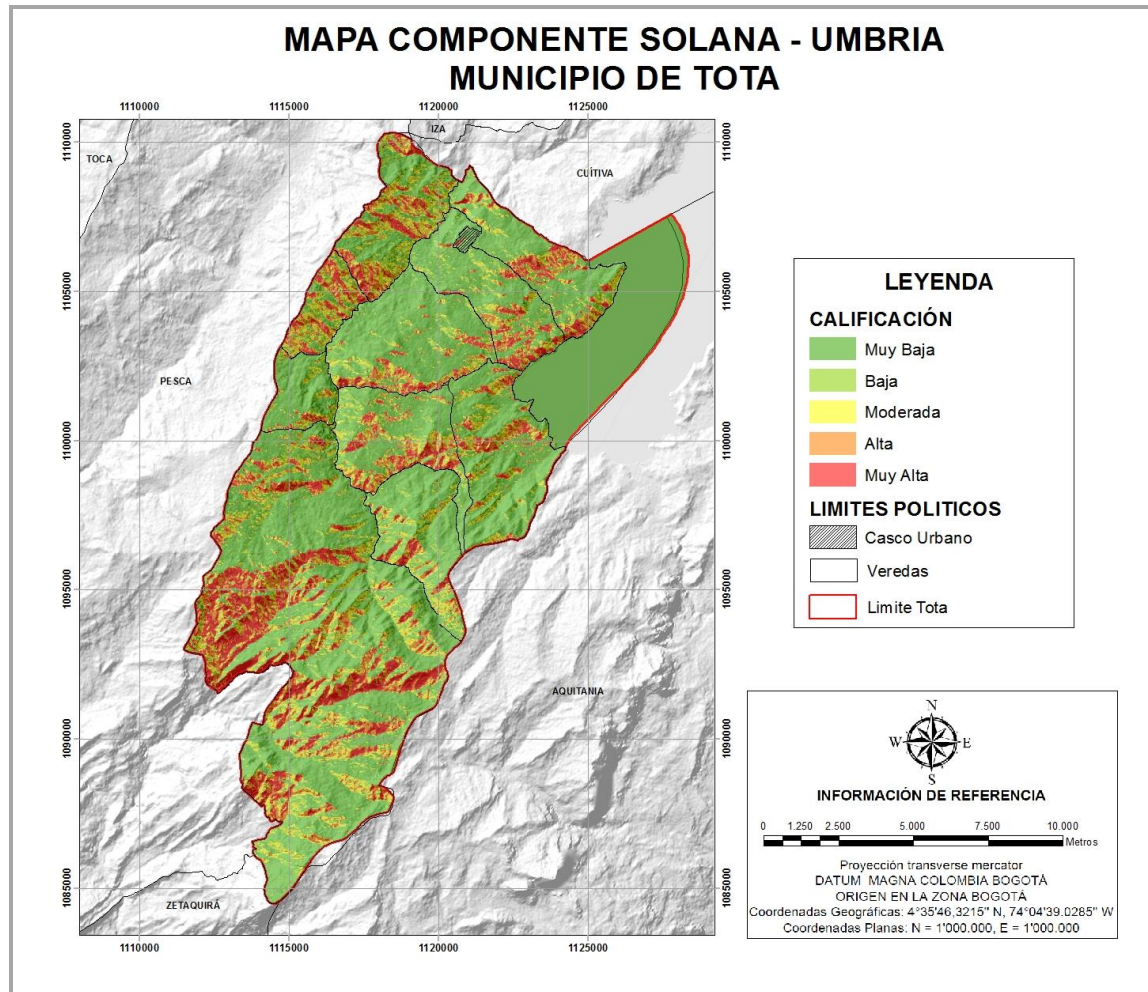
Fuente: Autor.

Con un 41 % se presenta una calificación muy alta en el municipio de vientos que favorecen la propagación de incendios, seguido de esta calificación se encuentra un valor de 33% de calificación 1, es decir muy baja.

7.6 SOLANA - UMBRÍA

Para la elaboración de este mapa, se contó con un modelo digital de elevación.

Figura 49. Mapa componente Solana - Umbria municipio de Tota.



Fuente: El Autor.

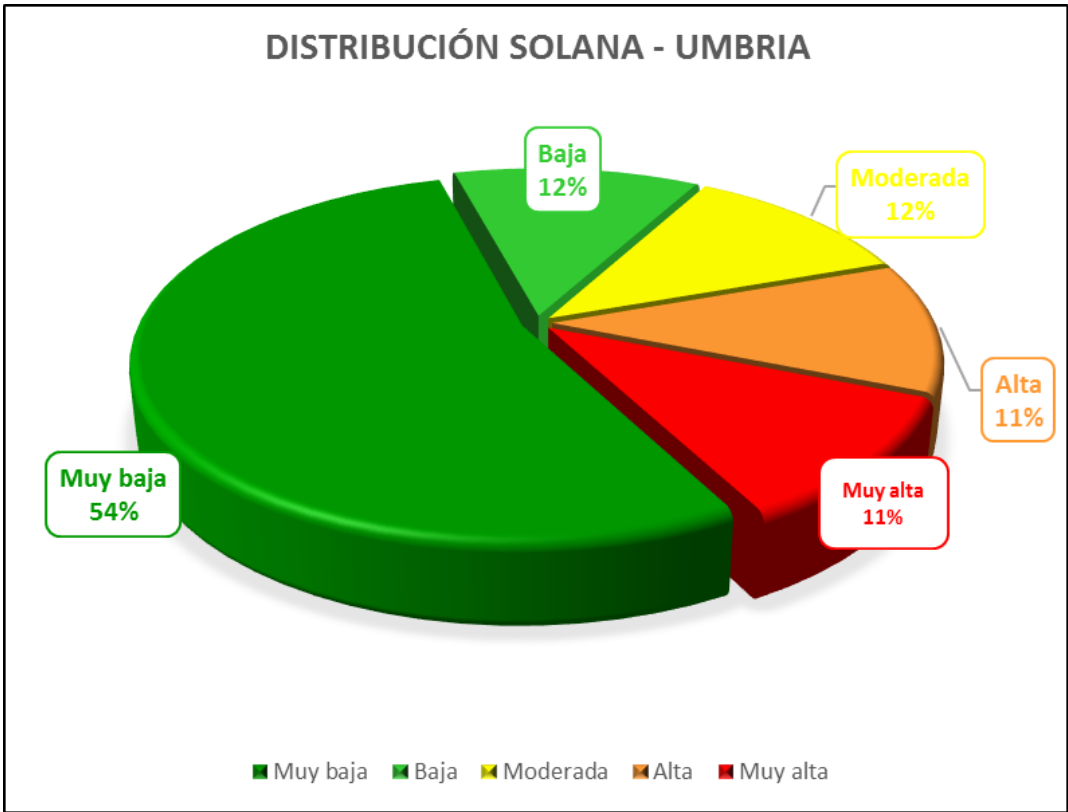
La distribución de las calificaciones en el municipio, puede observarse en la *tabla 23* y en la *figura 50*.

Tabla 23. Distribución solana - Umbría calificados en Tota

Categoría	Categoría de Amenaza	Área (m2)	Porcentaje
1	Muy baja	95181941,90	53,6%
2	Baja	21603106,43	12,2%
3	Moderada	20540720,81	11,6%
4	Alta	20422874,34	11,5%
5	Muy alta	19817389,88	11,2%
Total		177566033,4	100%

Fuente: Autor.

Figura 50. Distribución solana - Umbría en Tota.

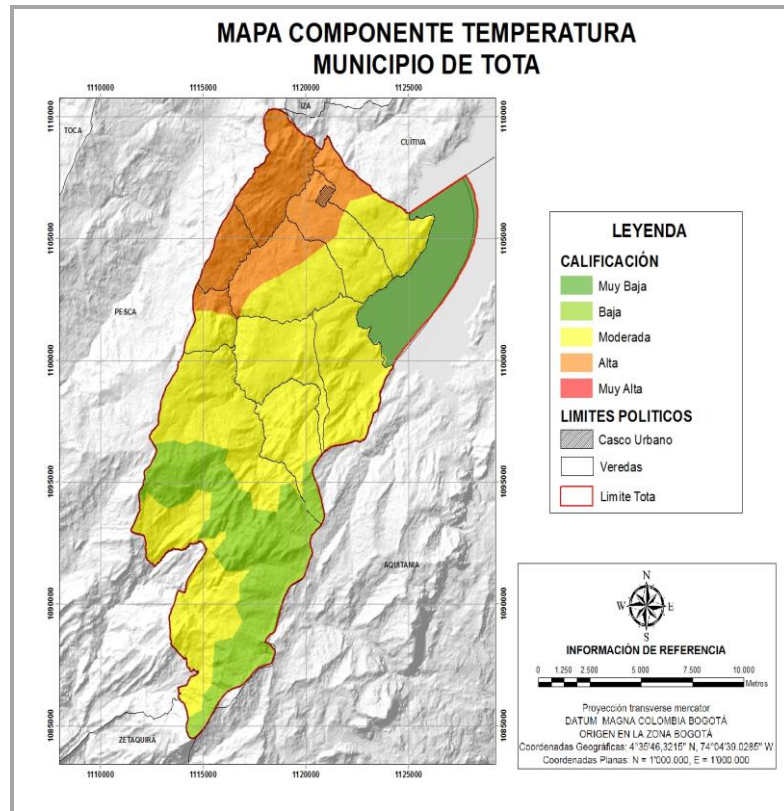


Fuente: Autor.

7.7 TEMPERATURA

Para el municipio de Tota se empleó información de temperatura desde el año 2000 hasta el año 2015, con el procesamiento de imágenes de NEO, la corrección altitudinal se trabajó con un DEM de la NASA en conjunto con la JAXA de 12.5 m de resolución. El mapa del componente de temperatura en el municipio se observa a continuación (*Figura 51*):

Figura 51. Mapa componente Temperatura municipio de Tota.



Fuente: Autor

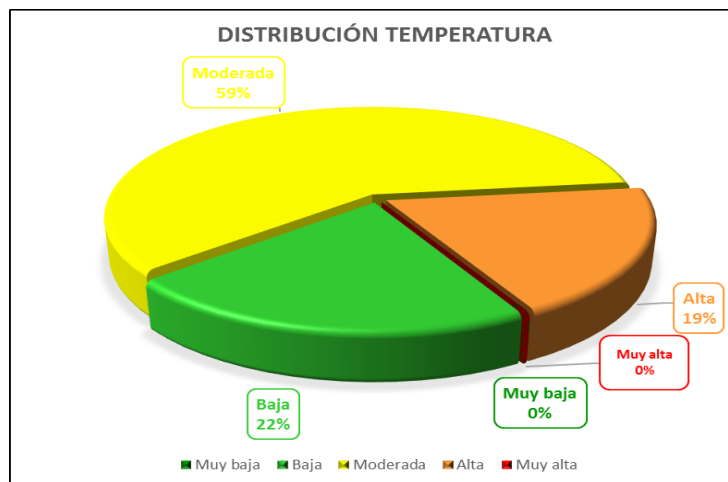
Para representar la distribución y predominancia de las calificaciones de temperatura en el municipio de Tota, se dispone un gráfico (*Figura 52*) y una tabla (*Tabla 24*) que esquematiza y expone una idea cuantitativa del tema:

Tabla 24. Distribución temperatura calificada Tota.

Categoría	Categoría de Amenaza	Área (m2)	Porcentaje
1	Muy baja	0,00	0,0%
2	Baja	38137697,26	21,5%
3	Moderada	105391404,16	59,4%
4	Alta	34036930,13	19,2%
5	Muy alta	0,00	0,0%
Total		177566031,5	100%

Fuente: Autor

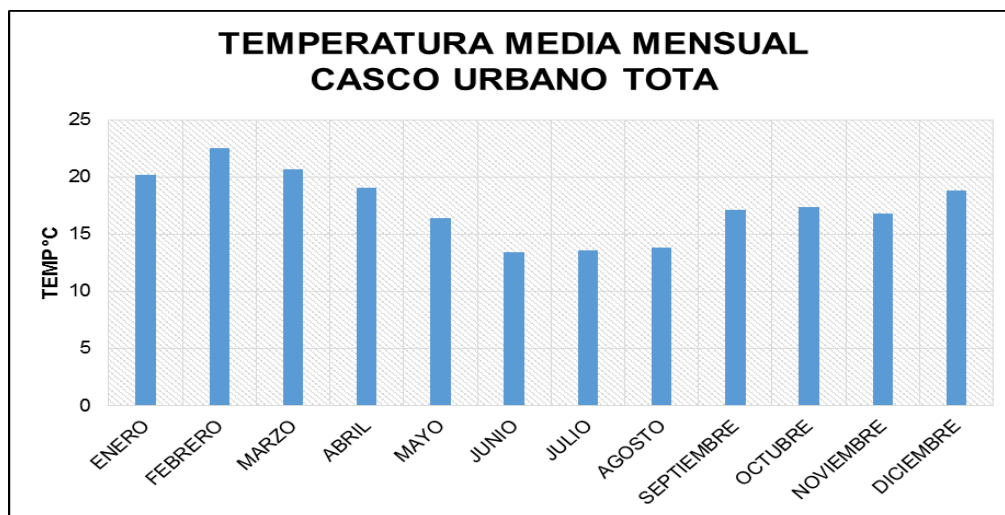
Figura 52. Distribución temperatura en Tota.



Fuente: Autor

A continuación se observa un diagrama en el que son representados los datos de temperatura media mensual, tomados en el casco urbano de Tota.

Figura 53. Diagrama de distribución de temperatura media mensual en el casco urbano de Tota.



Fuente: Autor

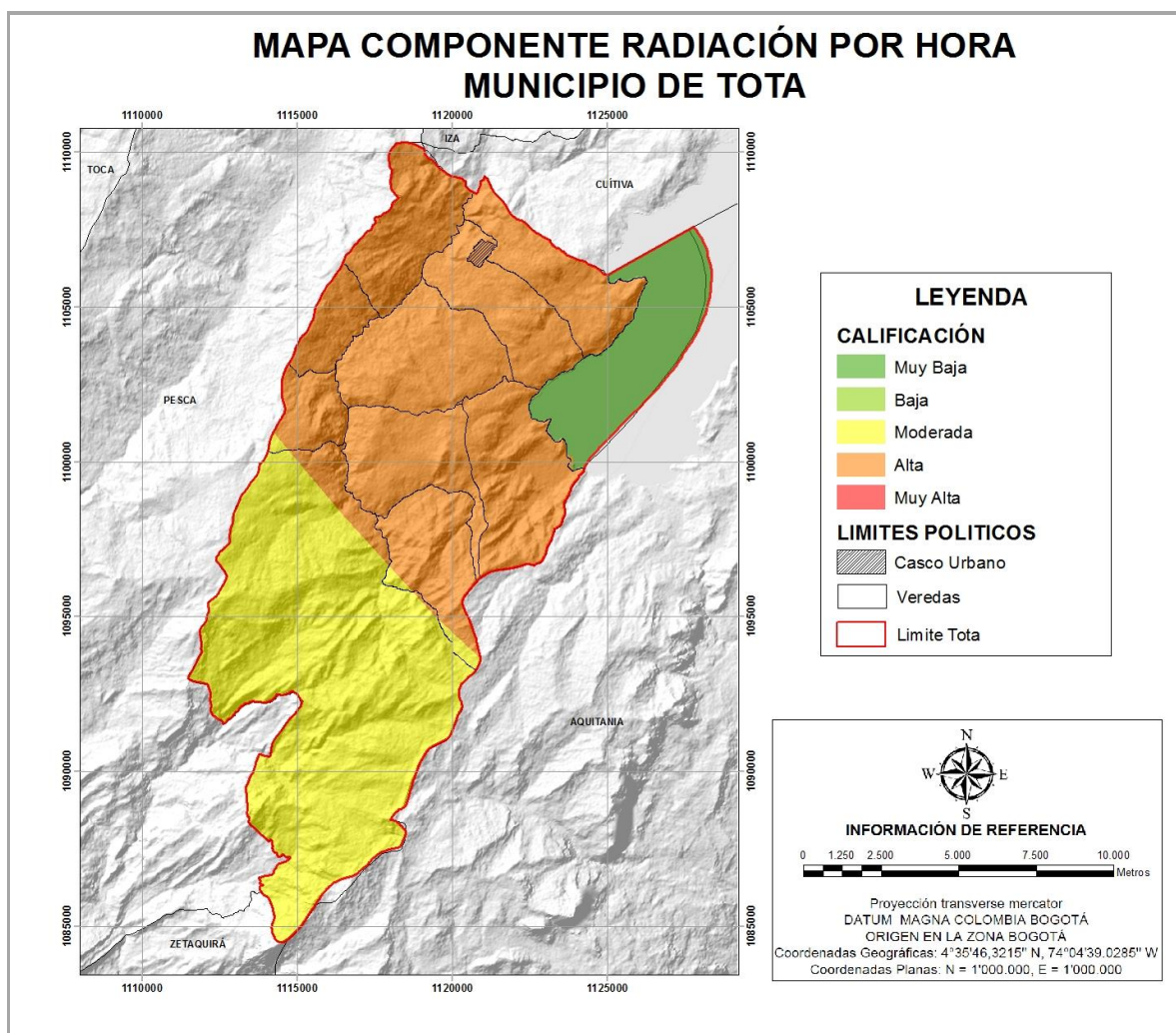
Como se aprecia en la figura 53, los meses en los que se presentan valores altos de temperatura, corresponden a enero, febrero, marzo y abril.

La calificación alta se distribuye en las veredas Romero, Daisy y en partes de veredas aledañas a las antes mencionadas como Toquechá, Tota y Guaquirá en la parte oeste del casco urbano del municipio.

7.8 RADIACIÓN SOLAR POR HORA

Para el municipio de Tota se empleó información de Radiación Neta desde el año 2007 hasta el año 2015, con el procesamiento de imágenes de NEO, el brillo solar se trabajó con datos de las estaciones El Túnel, Rondón, Apto A Lleras C del IDEAM. El mapa del componente de Radiación por Hora en el municipio se observa a continuación (*Figura 54*):

Figura 54. Mapa radiación por hora municipio de Tota.



Fuente: Autor.

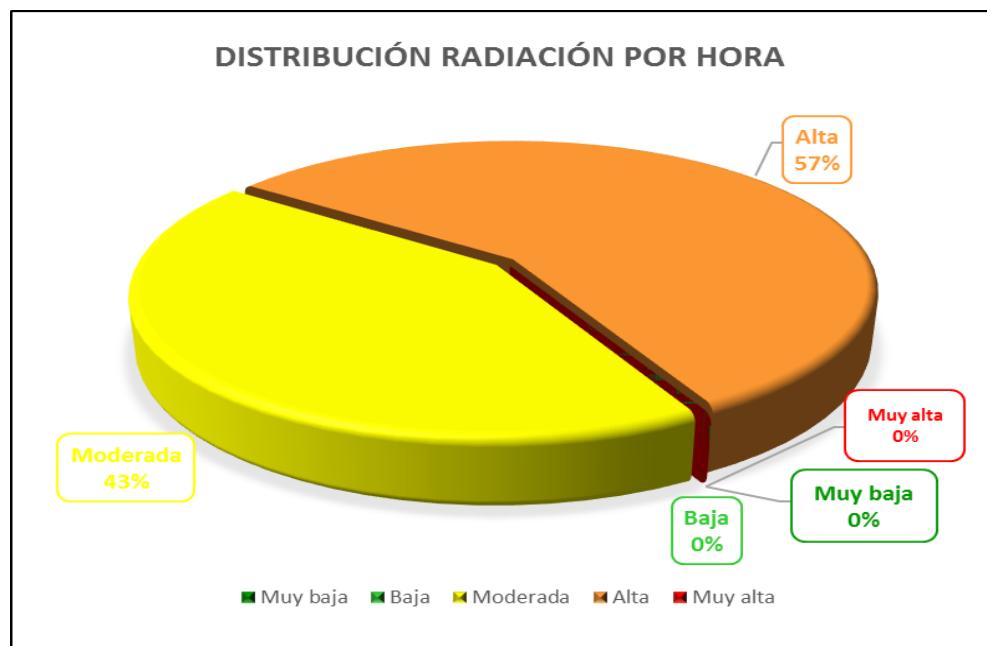
A continuación se aprecia una distribución y predominancia de las calificaciones de radiación por hora en el municipio de Tota, se dispone un gráfico (*Figura 55*) y una tabla (*Tabla 25*) que esquematiza y expone una idea cuantitativa del tema:

Tabla 25. Distribución radiación calificada Tota.

Categoría	Categoría de Amenaza	Área (m2)	Porcentaje
1	Muy baja	0,00	0,0%
2	Baja	0,00	0,0%
3	Moderada	75720045,61	42,6%
4	Alta	101845987,75	57,4%
5	Muy alta	0,00	0,0%
Total		177566033,4	100%

Fuente: Autor

Figura 55. Distribución radiación por hora calificada Tota



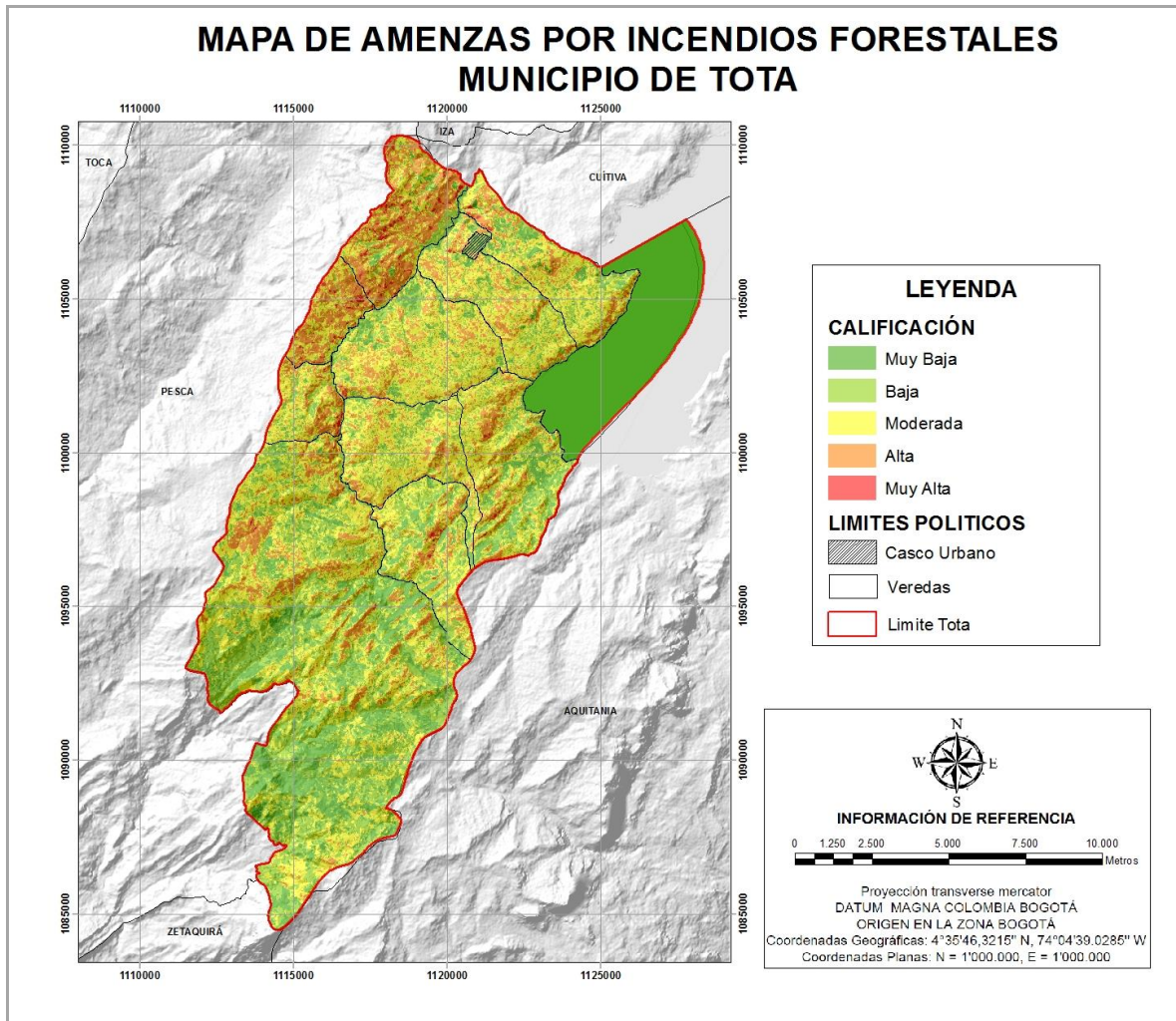
Fuente: Autor

La distribución de radiación por hora en el municipio presenta 2 calificaciones: moderada con un 42,6% y Alta con un 57%. La radiación alta se presenta en las veredas Romero, Guaquira, Toquecha, Daisy, Tota, La Puerta, Sunguvita y moderada en la vereda Corales y en la parte sur de la vereda Rancheria.

7.9 MAPA DE AMENAZAS POR INCENDIOS FORESTALES EN TOTA

La elaboración de este mapa de amenazas por incendios forestales, se construye con la suma de todas las componentes antes mencionadas.

Figura 56. Mapa de amenazas por incendios forestales en Tota.



Fuente: Autor

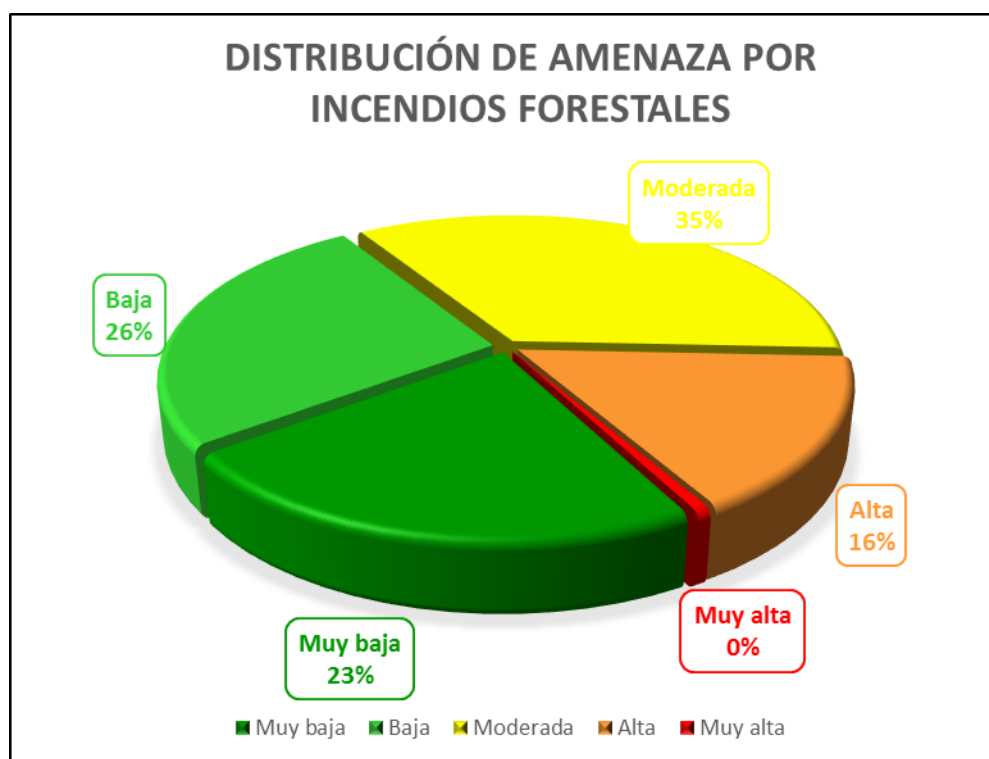
Para tener una idea cuantitativa de la distribución de la amenaza en el área del municipio, se presenta a continuación la tabla 26 y la figura 57.

Tabla 26. Distribución de amenazas por incendios forestales en el municipio de Tota.

Categoría	Categoría de Amenaza	Área (m2)	Porcentaje
1	Muy baja	44382546,55	22,6%
2	Baja	51274512,04	26,1%
3	Moderada	67987374,31	34,7%
4	Alta	31289474,09	16,0%
5	Muy alta	1172794,56	0,6%
Total		196106701,5	100%

Fuente: Autor

Figura 57. Distribución amenaza por incendios forestales por hora calificada Tota



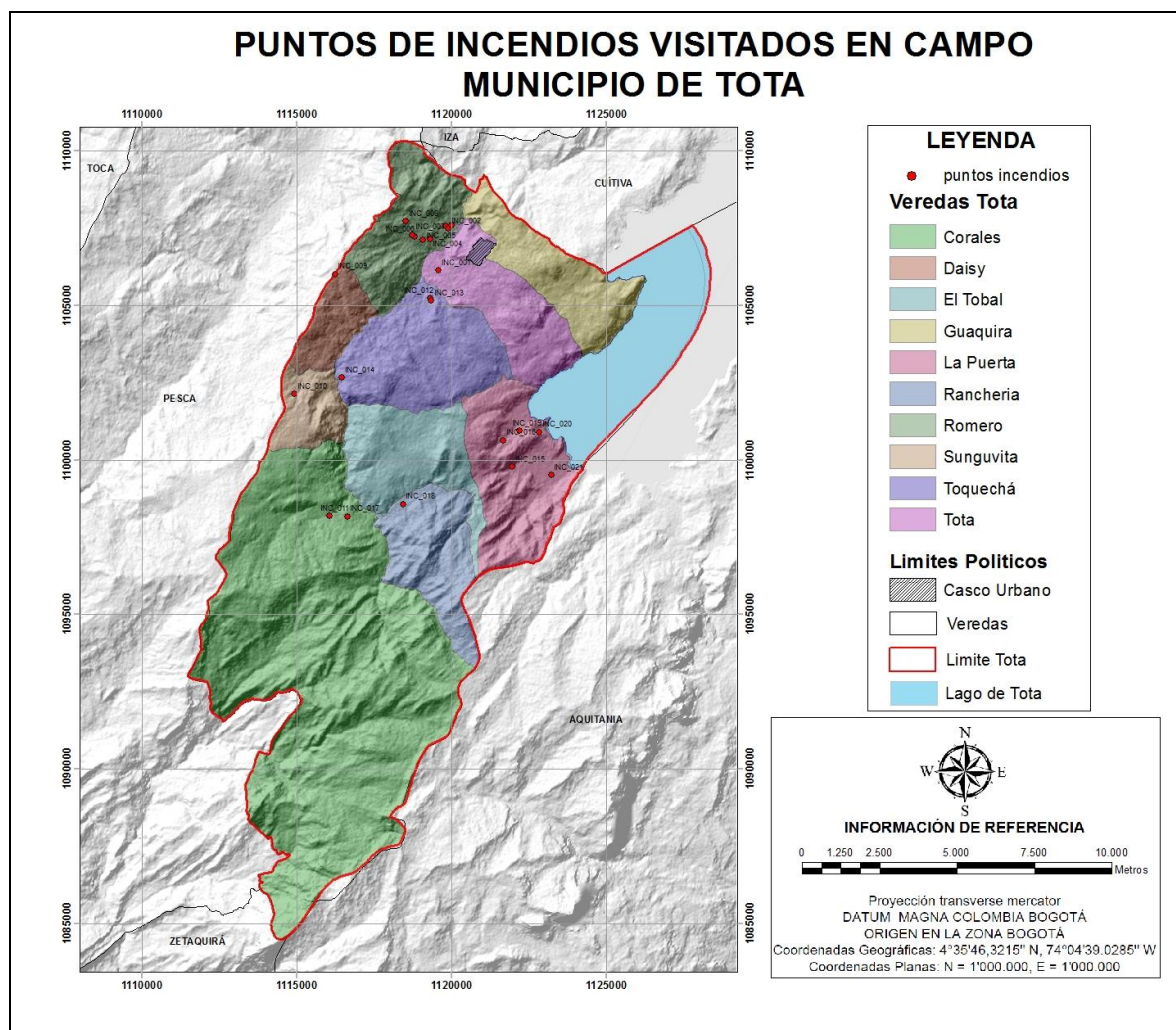
Fuente: Autor

En el municipio de Tota, la calificación que mayor se distribuye en el área corresponde a Moderada, ocupado un 35%, seguido de baja con un 26%, baja con un 23%, alta con 16% y muy alta con 0.6%, como puede verse en el anexo 4, las calificaciones alta y muy alta se distribuyen con mayor frecuencia en Romero, Daisy y en algunos sectores de la vereda Ranchería y Corales.

8. VERIFICACIÓN EN CAMPO

Una vez se han obtenido los resultados del mapa de amenazas por incendios forestales en el municipio de Tota, se realizó la verificación de huellas de incendios¹². Los puntos visitados se muestran a continuación:

Figura 58. Puntos de incendios Tota



Fuente: Autor

¹² Es importante aclarar que no se pudo realizar un inventario riguroso, por dificultades en la accesibilidad en predios privados.

INCENDIO INC_001

Foto 1. Incendio antiguo vereda Tota, INC_001



Coordenadas: X=1.119.561
Y=1.106.138

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Tota

Descripción: Se observa una alteración de la vegetación por construcción de una vía, la topografía del sector es moderadamente inclinada, se identifica un recrecimiento de la vegetación por lo cual se pretende que es un antecedente de incendio, la cobertura presente son pastos, rastrojos y relicto de bosque (Jóvenes)

Análisis del incendio: Fue un incendio superficial, de baja intensidad, que consumió toda la vegetación de altura baja a moderada.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación moderada, alta y muy alta.

Fuente: Autor

INCENDIOS INC_002, INC_003

Foto 2. Incendio reciente, vereda Romero, INC_002



Foto 3. Incendio antiguo, Vereda Romero, INC_003



Coordenadas: X=1.119.916
Y= 1.107.540

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Romero

Descripción: En el sector se evidenciaron 2 incendios, uno reciente y otro más antiguo, ubicados cerca de una vía secundaria, la topografía presente es suave; la cobertura son pastos en mayoría, con relictos de bosque no nativos en recrecimiento, algunas plantas pequeñas nativas.

Análisis del incendio: El incendio más antiguo fue superficial y tuvo una intensidad alta evidenciada en costras de incineración en los arboles grandes del sector y en la gran cantidad de materia vegetal quemada acumulada el suelo del sector.

El incendio reciente fue superficial, tuvo una intensidad baja, fue controlado al parecer rápidamente, no logro propagarse, se alcanzaron a incinerar algunos troncos y plantas pequeñas.

Se puede definir la zona como recurrente a incendios forestales.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación alta.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_004

Foto 4. Incendio vereda Romero, INC_004



Coordenadas: X=1.119.286
Y=1.107.135

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Romero

Descripción: El sector tiene una vegetación de semi-paramo, la topografía tiene inclinación media, la vegetación tuvo un recrecimiento rápido ya que tiene densidad alta. Se observan pastos, algunos rastrojos, vegetación herbácea, arbustos y vegetación de paramo.

Análisis del incendio: El incendio fue sub-superficial gracias a la gran cantidad de materia orgánica presente en el suelo, tuvo una intensidad moderada.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación moderada, alta y muy alta.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_005

Foto 5. Posible quema para cultivo, vereda Romero, INC_005



Coordenadas: X=1.119.058
Y=1.107.102

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Romero

Descripción: Se observa un inadecuado uso del suelo al cultivar en zona protegida, la topografía es variable con hondonadas y saltos con pendientes medias, la vegetación la conforman los cultivos, pastos, matorrales y algunos relictos de bosque.

Análisis del incendio: El incendio fue superficial antrópico, se evidencian restos vegetales quemados y removidos para realizar cultivo.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación moderada y alta.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_006 INC_007

Foto 6. Incendio provocado por tala y acumulación de árboles, vereda Romero, INC_006 Y INC_007



Coordenadas: X=1.118.774
Y= 1.107.225

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Romero

Descripción: En el sector se realizó una tala indiscriminada por lo que el paisaje es árido; con acumulación de hojas, palos y aserrín que posiblemente provocaron el incendio.

Análisis del incendio: El incendio fue sub-superficial por la gran cantidad de material presente en el suelo, se observan costras de incineración en los árboles altos.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación moderada, alta y muy alta.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_008

Foto 7. Incendio muy antiguo, vereda Romero, INC_008



Coordenadas: X=1.118.506
Y=1.107.718

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Romero

Descripción: En el sector se observa gran acumulación de material vegetal por lo que se pudo generar el anterior incendio, la vegetación no es nativa, es un relicto de bosque, la topografía es variable pendiente arriba es de baja inclinación y pendiente abajo aumenta la inclinación.

Análisis del incendio: El incendio fue superficial, se observan costras de incineración en los árboles y aridez en el suelo, se puede volver a presentar un incendio con una intensidad alta.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación moderada y alta.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_009

Foto 8. Zona de contraste entre cultivos y vegetación nativa, vereda Daisy, INC_009



Coordenadas: X=1.116.219
Y=1.106.018

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Daisy

Descripción: Se puede observar el contraste entre los cultivos y la vegetación nativa, posiblemente este cambio se produjo con el objeto de ampliar la frontera agrícola; la topografía es variable.

Análisis del incendio: Es posible que el incendio se causara para crear zona de cultivo.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación moderada.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_012

Foto 9. Zona de tala y quema de árboles, vereda Toquechá, INC_012



Coordenadas: X= 1.119.291
Y=1.105.235

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Toquechá

Descripción: La zona presenta una vegetación de pastos y árboles, la topografía varía de pendiente, arriba hacia abajo disminuyendo la inclinación. Hay rejuvenecimiento de los pastos alrededor de los árboles talados y quemados.

Análisis del incendio: Es un incendio superficial antrópico, se observan las costras de incineración.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación Baja.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_013

Foto 10. Incendio reciente, vereda Toquechá, INC_013



Coordenadas: X= 1.119.330
Y=1.105.151

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Toquechá

Descripción: El sector se ve poca variación de la cobertura desde pastos, matorrales, arbustos a esporádica presencia de árboles. La pendiente es moderada.

Análisis del incendio: Es un incendio superficial pequeño, fue controlado rápidamente y consumió varios arbustos.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación Baja y Moderada.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_014

Foto 11. Incendio de gran extensión, vereda Toquechá, INC_014



Coordenadas: X= 1.116.441
Y=1.102.653

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: Toquechá

Descripción: La zona tiene una topografía compleja con hondonadas, a un costado transcurre el río Tota, se observan escarpes y roca expuesta, la cobertura varía en pastos, arbustos, matorrales y relictos de bosque. Se observa que los pastos y algunos arbustos tienen un rejuvenecimiento.

Análisis del incendio: Es un incendio superficial, se puede evidenciar una densidad de cobertura media a alta por lo cual puede tener una velocidad alta de propagación, el incendio es de gran extensión observado desde la ladera al otro lado del río.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación muy baja, baja y moderada.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_015

Foto 12. Incendio antiguo, vereda Puerta, INC_015



Coordenadas: X= 1.121.959
Y=1.099.776

Departamento: Boyacá

Municipio: Tota

Vereda: La puerta

Descripción: La tiene una topografía de pendientes altas, con sectores donde la roca está expuesta, la vegetación no es nativa, con pastos y pinos, los últimos tienen la particularidad de generar una capa gruesa de material vegetal en el suelo.

Análisis del incendio: Fue un incendio sub-superficial, debido a la capa gruesa de material en el suelo, se pueden apreciar costras de incineración en algunos árboles gruesos y frutos de pino quemados en el suelo.

Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación Baja, moderada, alta y muy alta.

Fuente: Autor

INCENDIO INC_016

Foto 13. Incendio antiguo, vereda Puerta, INC_016



Coordenadas: X= 1.121.657 Y=1.100.640	Departamento: Boyacá
Municipio: Tota	Vereda: La puerta
Descripción: El sector se ve rejuvenecido, con vegetación variable con pastos, arbustos, matorrales y algunos árboles. Por el sector cruza una quebrada.	
Análisis del incendio: Fue un incendio superficial, que quemo todo el árbol, los cuales se ven secos y sin rejuvenecimiento, lo demás se ha recuperado rápidamente.	
Este punto en el mapa de la componente de mapas de antecedentes, quedó en calificación Baja, moderada y alta.	

Fuente: Autor

CONCLUSIONES

A nivel global los incendios forestales son cada vez más comunes por las condiciones climatológicas y de cobertura vegetal que favorecen su propagación, por lo que es importante como un primer paso, zonificar los niveles de amenaza.

Algunos países son líderes en el manejo de información para obtener zonas de riesgos por incendios forestales, pero en condiciones climatológicas locales que difieren a las de las zonas ecuatoriales y por lo tanto se deben ajustar a lo local.

En Colombia existen 2 trabajos importantes que abarcan la temática de incendios forestales como el de Gabriel Paramo y el del IDEAM, pero estas están pensadas para escalas de trabajo muy generales, no acordes con la estructura espacial y el tamaño municipal.

El empleo de información climatológica NEO, resulto ser una herramienta muy útil y aplicable en zonas en las que no hay una gran cobertura de las estaciones meteorológicas del IDEAM en variables como la precipitación, radiación, y temperatura.

Los Sistemas de información Geográfica son indispensables para el manejo y procesamiento de datos espaciales constituyéndose en una herramienta de gran importancia para el desarrollo de cada una de las componentes.

En los incendios el detonante principal es el fuego, partiendo de esto se planteó una metodología combinando los factores detonantes con las zonas susceptibles en donde este se propaga.

Los antecedentes de incendios están poco documentados, en muchos casos no existe información histórica, los antecedentes hallados a partir del NBR se proponen como una solución a esta problemática. La aplicación del NBR en Tota ayudó a subsanar la carencia de esta información en donde los valores más altos se presentaron en las veredas Romero y Daisy.

La interacción de los vientos con otros factores como las pendientes y la dirección de las laderas pueden ayudar a predecir el comportamiento o el patrón de propagación de un incendio.

El Fenómeno de Foehn puede llegar a tener un gran impacto sobre el clima de Tota, debido a su posición geográfica. Este aspecto es importante, ya que se puede traducir a una temporada de presencia de incendios durante los meses de menor precipitación, en este caso de Enero a Abril.

En el municipio de Tota se presenta una gran predominancia de calificaciones Altas a muy Altas en la componente de combustibles, debido a la presencia de Pastos, cultivos, matorrales, rastrojos y vegetación de paramo que según el estudio de la susceptibilidades de las coberturas vegetales al fuego son altas (Paramo Rocha, 2011).

Según los rangos de pendientes del IDEAM, para el municipio de Tota, se presenta predominancia entre calificaciones Altas con 45% a moderadas con 38% del área total del municipio.

En el análisis de incendios forestales, es fundamental conocer tanto la dirección como la velocidad de los vientos, sin embargo en Colombia son escasas las estaciones que miden esta variable, lo cual dificulta predecir el movimiento a una escala más detallada, por este motivo, el valor asignado a la componente Viento en la suma ponderada para realizar el mapa final de zonificación de amenazas por incendios forestales es baja

La definición de las zonas de propagación con base en la dirección de los vientos y de la pendiente propuesta, indica las zonas donde más rápido se puede extender un incendio; la componente de vientos es de vital importancia, sugerida por IDEAM pero no aplicada por este ni tampoco ofrece información acerca del manejo de estos datos.

Con la componente de Solana – Umbría se pretende identificar las zonas con mayor exposición solar, actuando este como detonante el cual no había sido contemplado en trabajos aplicados para Colombia.

Con respecto a la temperatura media mensual (*figura 53*) y con la precipitación media mensual (*figura 42*) es de notarse que existe cierta coincidencia en relación a las temporadas de bajas precipitaciones con las temporadas de altas temperaturas durante los meses de enero a abril, en el cual se puede traducir a un escenario propicio que beneficia la propagación de incendios forestales en sectores aledaños al casco urbano de Tota.

La radiación neta como detonante del fuego no se tiene en cuenta en el desarrollo de la metodología del IDEAM por lo que se incluyeron en este trabajo nuevos rangos de este tipo de radiación para Colombia. La radiación neta involucrada con las horas de sol, genera un excelente resultado evidenciando aquellas zonas donde el sol incide por mayor tiempo.

La calificación final de amenazas teniendo en cuenta los diferentes componentes de la metodología se traduce a un complejo trabajo, que involucro variables a nivel global y el uso de la normalización como procedimiento generando muy buenos resultados al lograr valores de amenaza adaptables a cualquier zona de estudio,

pues se tienen en cuenta valores máximos y mínimos de la suma de todas las variables.

La verificación en campo, confirmó los resultados del estudio pues se observaron huellas de incendios con mayor frecuencia en las veredas Romero y Daisy.

Se comprobó en campo la información de los NBR reportado en las imágenes Landsat y los puntos de control verificados en campo dieron una congruencia con las calificaciones altas del mapa de antecedentes y coinciden en la mayor cantidad de puntos en calificación 5.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios sobre material vegetal muerto (troncos caídos, hojarasca, pasto seco, ramas secas, etc.) en los ecosistemas como combustible o mecanismo de propagación de los incendios.

Se recomienda en un futuro complementar este estudio en lo que respecta a dirección y velocidad de los vientos, ya que solo se tiene información de una sola estación meteorológica (Aquitania automática), cuando la información de las estaciones automáticas estén abiertas para el público y haya una mayor cobertura temporal de información.

Se recomienda ampliar en próximos estudios el grado de detalle sobre el comportamiento del fenómeno Fohen en el área de Tota por su gran relevancia en este tipo de análisis.

Para mejorar los resultados se sugiere adquirir un modelo digital de elevación más detallado con instrumentos de alta precisión, además obtener imágenes satelitales con mayor resolución espacial para la generación de la cobertura.

Es importante que los municipios empiecen a crear una base de datos con respecto a los incendios que se producen que incluyan las causas que lo generaron y el comportamiento de este, ya que esta información le daría más reducción de incertidumbre al estudio.

Según los resultados de este estudio en el municipio de Tota, se recomienda que esta sea aplicada en diferentes zonas de Colombia para observar variaciones y relaciones de los resultados, para así enriquecer aún más la metodología.

Se recomienda tener en cuenta la zonificación de incendios, como una de las amenazas principales en el ordenamiento territorial la cual no ha sido incluida en ninguna normativa como lo es el Decreto 1807 de 2014 que estandarice sus escalas de trabajo según el uso del suelo y requerimientos que deba cumplir a nivel nacional.

BIBLIOGRAFÍA

El Tiempo. Incendios por fenómeno de El niño arrasaron 120.000 hectáreas en 2015. Febrero 2016. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/estilo-devida/Ciencia/incendios-por-fenomeno-del-nino/16510446>

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Cartilla orientadora para la gestión del Riesgo en incendios forestales en el marco de la ley 1523 de 2012. Disponible en internet: http://www.cfnbcolombia.com/pdf/Cartillas/CARTILLA_INCENDIOS_FORESTALE_S.pdf

PARAMO R, Gabriel. Susceptibilidad de las coberturas vegetales de Colombia al Fuego. Editorial Universidad Autónoma de Occidente, 2011.p. 73 123.

IDEAM. Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal – Escala 1:100.000. Editorial IDEAM, 2011.p.14-17, 32- 41.

COLOMBIA. Esquema de Ordenamiento territorial municipio de Tota, 2000.

COLOMBIA. Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Plancha Topográfica 191 escala 1:100.000, 2009.

COLOMBIA. Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Plancha Topográfica 192 escala 1:100.000, 2009.

COLOMBIA. INGEOMINAS. Plancha geológica Tunja 191, escala 1:100.000,1998.

COLOMBIA. INGEOMINAS. Plancha geológica Lago de Tota 192, escala 1:100.000 ,2009.

COLOMBIA. Servicio Geológico Colombiano. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, 2012. P. Anexo A.

ANDREWS, P.L y BENINS, C.D. Behave Plus FIRE modeling system, version 2.0: User's Guide. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2003.

BURGAN, R.E y ROTHERMEL, R.C. Behave. Fire behaviour prediction and fuel modeling system –Fuel subsystem. 1984.

CHUVIECO, E; COCEROA,D; RIAÑO, D; MARTINEZ, P; MARTINEZ,J; DE LA RIVA, J Y PEREZ, F. "Combining NDVI and Surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating". Remote Sensing of environment 92. 2004. p. 322-331.

CANADÁ. Forestry Canadá FIRE Danger group.1992.

P.S. Roy. Forest Fire And Degradation Assessment Using Satellite Remote Sensing And Geographic Information System, Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. 2003. P. 361- 400.

Parisien, M.A. Mapping wildfire susceptibility with the BURN-P3 simulation model. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, Alberta. 2005.

ABER, James. Landsat Image Processing, Normalized Burn Ratio. 2004.

Disponible en internet:

http://academic.emporia.edu/aberjame/remote/landsat/landsat_proc.htm#burn

USGS, FIREMON BR Cheat Sheet V4 The normalized Burn Ratio (NBR) brief outline processing steps. 2004. Disponible en internet:

http://burnseverity.cr.usgs.gov/pdfs/LAv4_BR_CheatSheet.pdf

NASA, Rainfall, Advanced document. 2016. Disponible en internet:

http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=TRMM_3B43M

NASA, Net Radiation, Advanced document. 2016. Disponible en internet:

http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_NETFLUX_M

NASA, Land Surface Temperature, Advanced document. 2016. Disponible en internet: http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MOD11C1_M_LSTDA

ARMENTA P, Guillermo. Análisis detallado del efecto foehn generado por la cordillera Oriental en el alto Magdalena (Huila y Tolima), Tesis de Grado universidad Nacional, 2013.

BOMBEROS DE NAVARRA NAFARROAKO SUHILTZAILEAK, Comportamiento del fuego forestal. Disponible en internet:

http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros_documentos/forestal2.pdf